INSTITUTUL POLITEHNIC IASI
FACULTATEA DE MECANICA

Conf. dr. ing. Ion Hopulele

Şef lucrări dr. ing. Ioan Alexandru   Şef lucrări ing. Dan Găluşcă

TRATAMENTE TERMICE SI TERMOCHIMICE

Vol. II

PENTRU UZUL STUDENTILOR
1984

INSTITUTUL POLITEHNIC IASI

FACULTATEA DE MECANICA

Conf.dr.ing.Ion Hopulele

Sef lucr.dr.ing.Ioan Alexandru Şef lucr.ing.Dan Găluşcă

Iordache Violeta

TRATAMENTE TERMICE SI TERMOCHIMICE

Vol.II

55277

1984

"Fierul e izvorul tuturor artelor folositoare, şi un popor care ştie a topi fierul şi de a face din el tot ce e necesar pentru corăbii de o mărime considerabilă, de la cui pîn la ancoră, nu poate să fi trăit într-o stare de barbarie, precum se admite în genere".

Mihai Eminescu

Opere, vol.XIV, Editura Academiei R.S.R.

1983, pg.936

Cap.V. TRATAMENTUL TERMIC AL OTELURILOR ALIATE

Oţelurile aliate sînt oţeluri care pe lîngă Fe şi C conţin, introduse în mod voit, şi alte elemente chimice, numite elemente de aliere. Oţelurile aliate posedă proprietăţi fizico-mecanice superioare oţelurilor carbon.

Influenţa favorabilă a elementelor de aliere asupra proprietăţilor oţelurilor se explică prin variaţia compoziţiei chimice a fazelor, prin deplasarea punctelor critice ale transformărilor structurale şi prin modificarea structurii.

Prezenţa elementelor de aliere modifică condiţiile de tratament termic în funcţie de natura, numărul şi cantitatea lor.

Elementele de aliere, sînt în general metale cristalizate în sistemul cubic cu volum centrat sau feţe centrate (Al, Ti, V, Cr, Mn, Ni, Co, Cu, Mo, W, Nb) cu excepţia cîtorva cristalizate în sistem hexagonal (Zr, Be, Ti) sau cubic diamant (Si).

Elementele de aliere introduse în oţel formează cu fierul soluţii solide de substituţie sau de interstiţie, în funcţie de razele lor atomice. Deasemeni unele se combină chimic cu carbonul formînd carburi (Mn, Cr, W, V, Mo, Ti, Zr, Nb, Ta).

In prezenţa azotului, elementele de aliere pot forma nitruri (Al, Cr, Ti, V, Mo, Mn).

Structurile ce se pot forma în oţelurile aliate sînt funcţie de conţinutul de carbon, de natura şi numărul elementelor de aliere. Ele pot fi: perlitice, feritice, martensitice, ledeburitice şi austenitice.

5.1. Influenţa elementelor de aliere asupra tratamentelor termice ale oţelurilor

Influenţa elementelor de aliere asupra tratamentului termic se manifestă prin modificarea punctelor critice, prin modificarea

transformărilor perlitice şi martensitice,călibilităţii,fragilităţii de revenire şi modificarea tendinţei de creştere a grauntelui de austenită la încălzire.

5.1.1. Influenţa elementelor de aliere asupra omogenităţii austenitei

La încălzirea oţelurilor aliate deasupra punctelor critice,au loc transformări de fază al căror rezultat final este formarea austenitei.Temperatura de formare a austenitei depinde de natura elementelor de aliere.Astfel elementele gamagene (Ni,Mn,Cu,N,Co,As,Pt) micşorează temperatura de formare a austenitei,iar elementele alfagene (Cr,Mo,Si,Al,V,W,Ti). măresc temperatura de formare a austenitei.Temperatura de formare a austenitei depinde şi de viteza de încălzire; creşte odată cu creşterea vitezei de încălzire a oţelurilor.

Viteza de formare a austenitei este influenţată pregnant de elementele de aliere.Elementele care măresc stabilitatea feritei micşorează viteza de formare a austenitei.

In oţelurile aliate omogenizarea austenit : are loc mai greu şi la temperaturi mai mari decît în oţelurile carbon.Omogenizarea austenitei se produce cu atît mai greu cu cît în oţel există mai multe carburi stabile (de Mo,W,Ti,V,Zr,Hf etc.).Concentraţia elementelor de aliere în combinaţiile chimice de tipul carburilor sau nitrurilor este mai mare decît concentraţia medie a aliajului.Prezenţa carburilor simple sau complexe în structura oţelului determină sărăcirea soluţiei solide în elemente de aliere,iar dizolvarea acestora are loc numai la temperaturi ridicate şi la durate de menţineri mari.Acest fapt determină ca tendinţa spre supraîncălzire a oţelurilor aliate să fie cu atît mai mică cu cît oţelul conţine mai multe elemente ce formează carburi stabile,care prin dispunerea lor la limitele grăunţilor de austenită constituie bariere mecanice în calea

dezvoltării grăunţilor de austenită.Mărimea grăuntelui de austenită şi gradul de omogenitate a acesteia vor influenţa caracterul transformărilor ce se produc la răcirea oţelurilor aliate.Cu cît austenita este mai omogenă cu atît mai greu se va transforma în martensită şi cu atît mai mult se va găsi sub formă de austenită reziduală în oţelurile călite.

Un grad de neomogenitate accentuat al austenitei determină creşterea temperaturii la care au loc transformările la răcire.In acest caz carburile nedizolvate în austenită joacă rolul germenilor străini de transformare grăbind procesul de transformare a austenitei în amestecuri de tranziţie.Deasemenea gradul mare de dispersie al structurii rezultate în urma încălzirii va grăbi descompunerea austenitei la răcire.

5.1.2. Influenţa elementelor de aliere asupra transformărilor austenitei la răcire

Prezenţa elementelor de aliere deplasează concentraţia carbonului din perlită crescînd-o (Al,Co,Cu) sau micşorînd-o (Ti,Mo,Si,Mn, Cr,W).

Asupra temperaturii transformării austenitei în perlită,elementele de aliere au aceeaşi influenţă ca şi asupra transformării alotropice; elementele gamagene (Ni,Mn,Co) coboară temperatura punctului A_1,iar elementele alfagene (Cr,Si,V,Mo,W,Ti) urcă această temperatură.

Temperatura de formare a perlitei influenţează mult gradul de dispersie al acesteia.Astfel,cu cît temperatura de transformare a austenitei în perlită este mai mare cu atît perlita obţinută va fi mai grosolană.

Elementele de aliere dizolvate în ferită sau cementită (cu excepţia cobaltului) determină micşorarea vitezei de transformare

a austenitei în amestecuri mecanice perlitice,deplasînd curbele TTT spre dreapta şi măresc totodată gradul de subrăcire al austenitei.Prezenţa carburilor dispersate în austenită accelerează transformarea acesteia.

Austenita înalt aliată se transformă mai greu la temperaturi mai scăzute în martensită.Astfel,elementele de aliere cu excepţia Al,Co şi Si coboară punctul de început de transformare martensitică (M_S) şi odată cu aceasta determină creşterea cantităţii de austenită reziduală în structura oţelurilor după călire.

5.1.3. Infleunţa elementelor de aliere asupra călibilităţii oţelurilor

Din punct de vedere al tratamentului termic,neajunsul principal al oţelurilor carbon nu constă în caracteristicile mecanice scăzute ci în călibilitatea lor redusă,care face ca proprietăţile acestora să fie neuniforme în secţiunea pieselor mijlocii şi mari.

Călibilitatea oţelurilor se află în strînsă legătură cu viteza critică de călire,cu mărimea grăuntelui de austenită,cu temperatura de încălzire şi cu compoziţia chimică a oţelurilor.Toate elementele de aliere (excepţie face cobaltul) măresc stabilitatea austenitei subrăcite,micşorează viteza critică de călire şi măresc călibilitatea oţelurilor.In ordine descrescătoare a influenţei lor acestea sînt: Mo,Mn,Cr,Ni,Cu,Si.

Creşterea călibilităţii oţelurilor de către elementele de aliere,în special cele care se dizolvă în fier,este pusă pe seama micşorării vitezei de difuzie a atomilor de carbon de către acestea.

Elementele de aliere care formează carburi stabile (W,V,Ti,Nb) influenţează negativ asupra călibilităţii micşorînd-o,deoarece aceste elemente micşorează gradul de aliere al austenitei.

Călibilitatea se modifică brusc (creşte) prin adăugare de

cantităţi foarte mici (zecimi de miimi de procent) de elemente de aliere.De exemplu,adaosuri de 0,002-0,004% B duce la creşterea bruscă a călibilităţii.

Explicaţia acestui fapt constă în faptul că elementele de aliere influenţează călibilitatea nu numai prin creşterea stabilităţii austenitei ci şi prin modificarea energiei superficiale a grăunţilor.

5.1.4. Influenţa elementelor de aliere asupra transformărilor ce au loc la revenirea oţelurilor

Tratamentul termic de revenire este etapa finală a unei prelucrări termice care asigură proprietăţile dorite pieselor şi sculelor.

Elementele de aliere favorizează obţinerea unor structuri de revenire cu un grad mărit de dispersie care asigură îmbinarea cea mai favorabilă a proprietăţilor de rezistenţă.

Procesele ce au loc la revenire,descompunerea martensitei şi austenitei în amestecuri disperse ferito-cementitice,bazate pe difuzia carbonului,sînt influenţate de elementele de aliere în funcţie de temperatura de revenire.Astfel,în primul stadiu de descompunere a martensitei,elementele de aliere care nu formează carburi (Mn,Ni,Si,Co,Al,Cu) influenţează puţin separarea carbonului din martensită,în timp ce elementele care formează carburi (Cr,W,Mo,V, Ti) se opun puternic descompunerii martensitei.

Aceasta este cauza pentru care oţelurile aliate cu astfel de elemente ce formează carburi au,după revenirea joasă,durităţi superioare oţelurilor carbon.

Influenţa elementelor de aliere se face mai simţită la temperaturi mai ridicate de revenire.Astfel,după reveniri la 450-500°C, duritatea oţelurilor aliate nu mai scade,iar pentru unele oţeluri aliate chiar poate să crească.Pe măsura creşterii temperaturii de revenire,procesele de difuzie a carbonului din martensită iau sfîr-

şit şi încep procesele de creştere a carburilor precipitate din martensită şi austenită şi de formare a carburilor elementelor de aliere fin disperse,care constituie cauza principală a creşterii durităţii.

Contribuie la creşterea durităţii după revenire la temperaturi ridicate 500-600°C,numai elementele de aliere care formează carburi (Cr,Mo,W,V,Ti) şi care s-au dizolvat parţial în austenită la încălzirea pentru călire,cum este cazul elementelor de aliere din oţelurile rapide.

Transformările ce se petrec în austenita reziduală sînt funcţie de natura şi cantitatea elementelor de aliere.Astfel,în oţelurile slab aliate austenita începe să se transforme în martensită în timpul încălzirii la revenire începînd cu temperaturi de 250°C.In oţelurile bogat aliate cu elemente ce formează carburi,la încălzirea pentru revenire,din austenită precipită carburi,iar la răcire austenita reziduală se transformă în martensită (durificare secundară).

Fiecare element de aliere are o temperatură specifică de revenire la care influenţa sa este cea mai puternică: 320-350°C pentru Si; 400-425°C pentru Mn; 425-450°C pentru Cr;525-550°C pentru Mo şi 600°C pentru V.

La revenirea oţelurilor aliate,în special cele de construcţie cu Mn,Cr,Cr-Mn şi Cr-Ni apare fenomenul de fragilitate de revenire,care poate fi diminuată prin ocolirea domeniului de temperaturi de revenire 200-400°C,prin răcirea bruscă în apă sau ulei după reveniri în domeniul 450-650°C sau prin adaosuri de o,5% Mo sau 1% W.

5.2. Particularităţile tratamentelor termice aplicate oţelurilor aliate

Oţelurile aliate,în funcţie de natura şi cantitatea elemente-

lor de aliere se vor comporta asemănător sau total diferit la tratamentele termice comparativ cu oţelurile carbon.

Incălzirea oţelurilor aliate în vederea recoacerii sau călirii se face cu viteză mică sau în trepte.Cu cît oţelul conţine mai multe elemente de aliere şi în cantitate mai mare,conductibilitatea lor termică scade şi la încălzire apar în secţiune diferenţe mari de temperatură care duc la formarea de tensiuni termice şi la apariţia deformaţiilor sau fisurărilor.Incălzirea cu viteză mică pentru oţelurile slab şi mediu aliate,sau în trepte pentru oţelurile bogat aliate,asigură încălzirea lentă şi uniformă a pieselor în toată secţiunea eliminînd astfel pericolul formării tensiunilor termice.In domeniul temperaturilor mari cînd oţelurile se află în stare plastică,viteza de încălzire poate fi ridicată.

Temperatura de încălzire la tratamentele termice ce necesită transformări de fază,pentru oţelurile aliate se află cu 50-250°C peste punctul critic A_{C3}.

La oţelurile aliate cu elemente ce formează carburi,durata de menţinere la temperatura de încălzire este mai mare cu 2o-3o% faţă de oţelurile nealiate,trebuind să asigure un anumit grad de omogenizare a austenitei,deci să asigure dizolvarea parţială a carburilor în austenită.

La recoacere oţelurile aliate se răcesc numai odată cu cuptorul.

In vederea călirii,oţelurile aliate se răcesc cu viteză mai redusă,în ulei sau chiar aer,deoarece stabilitatea austenitei subrăcite este mare,iar viteza critică de călire este mult mai mică decît la oţelurile carbon.

Parametrii tehnologici de revenire trebuie să asigure transformările structurale ale martensitei şi să evite pe cît posibil

fenomenul de fragilitate de revenire.

Oţelurilor aliate li se pot aplica tratamente termice de recoacere de globulizare,de recristalizare,de omogenizare,de detensionare,de normalizare,de călire şi de revenire.

5.2.1. Tratamentul termic al oţelurilor aliate cu mangan

Manganul,element gamagen,este solubil în fier pînă la maxim 10%.Măreşte mult călibilitatea,coboară mult punctul de început al transformării martensitice şi micşorează concentraţia în carbon a perlitei.Prin dizolvare în perlită,manganul îi măreşte duritatea şi-i scade rezistenţa la rupere şi tenacitatea acesteia.Prin dizolvare în Fe_3C dă $(FeMn)_3C$ care se descompune la temperaturi relativ mici,mărind sensibilitatea la supraîncălzire.

In urma răcirii în aer liber (normalizare) structura oţelurilor cu mangan,în funcţie de conţinutul de Mn şi C poate fi: perlitică,martensitică sau austenitică.

Oţelurile perlitice sînt destinate construcţiei de maşini şi conţin pînă la 1,5% Mn.Recoacerea de înmuiere a oţelurilor perlitice cu mangan este o recoacere izotermă urmată de răcire foarte înceată,deoarece în aceste oţeluri apare foarte uşor structura de călire la răcirea în aer liber,avînd viteze critice de călire scăzute.In vederea călirii,aceste oţeluri se austenitizează la temperaturi imediat superioare punctului critic A_{C3},pentru a preveni apariţia supraîncălzirii,iar răcirea se face în ulei sau apă.Revenirea se realizează la 550-650°C,cu răcire în apă pentru a evita apariţia fragilităţii de revenire.Structura obţinută în urma acestei reveniri este sorbitică.

Odată cu creşterea conţinutului de Mn,adîncimea stratului cementat la temperaturi înalte 980-1000°C scade,iar dimensiunile grăunţilor în stratul cementat scad.

Oţelurile austenitice cu mangan conţin 1,2-1,4% C şi 12-14% Mn,se ecruisează foarte uşor devenind martensitice cînd duritatea şi rezistenţa la uzare cresc foarte mult,iar limita de curgere scade.Aceste oţeluri se prelucrează numai prin turnare şi rectificare,ele nefiind deformabile şi nici aşchiabile.

In urma călirii de punere în soluţie de la 1000-1050°C,aceste oţeluri au structura formată din austenită omogenă,sînt moi şi foarte tenace.

Prin revenire,din austenită,separă carburi şi uneori se formează chiar ace de martensită,lucru ce determină creşterea durităţii pînă la 400 HB.

Oţelurile martensitice care au un conţinut mare de carbon şi mediu de mangan nu se utilizează datorită marii lor fragilităţi.

Oţelurile perlitice sînt destinate pieselor supuse la uzare (bucşe,roţi dinţate,şine de cale ferată,arcuri etc.),iar cînd conţin mult carbon sînt destinate sculelor de măsurat (rigle,şabloane, calibre,etc.)

Oţelurile austenitice cu mult carbon şi mangan sînt oţeluri nemagnetice şi foarte rezistente la uzare,destinate cupelor de excavatoare,fălci de concasoare,cilindri de laminoare,etc.

5.2.2. Tratamentul termic al oţelurilor aliate cu crom

Cromul,element alfagen este total solubil în fier,putînd forma cu fierul compusul intermetalic FeCr,iar cu carbonul formează carburi de forma: Cr_3C_2;Cr_4C;$Cr_{23}C_6$;Cr_7C_3 $(FeCr)_4C$;$(FeCr)_4C$ $(FeCr)_7C_3$ care sînt stabile (disociază la temperaturi superioare valorii de 1550°C).

Cromul determină creşterea durităţii,rezistenţei la rupere şi a rezistenţei la uzare,în special după călire,cînd structura este formată din martensită aliată cu crom şi carburi, fig.2ol.

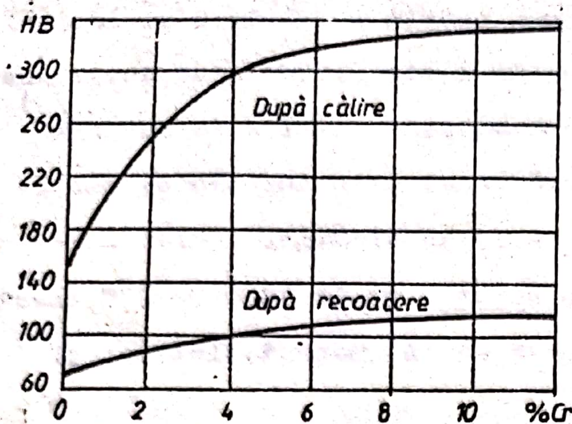


Fig.2o1.Influenţa cromului asupra durităţii unui oţel cu o,o2%C după călire şi după recoacere.

Cromul deplasează spre dreapta curbele TTT,măreşte călibilitatea oţelurilor şi stabilitatea austenitei subrăcite şi stabilitatea martensitei la revenire. Peste 13% Cr măreşte rezistenţa la coroziune în atmosferă şi în unii acizi atît la temperatura ambiantă cît şi la temperaturi mai ridicate.

Structura oţelurilor cu Cr în urma răcirii în aer liber poate fi: perlită cu carburi $(CrFe)_7C$, feritică cu carburi $(CrFe)_{23}C_6$,martensitică cu carburi şi ledeburitică.

Oţelurile cu crom,după turnare se prelucrează prin deformare plastică la cald în scopul micşorării granulaţiei,distrugerea reţelei de carburi,finisării carburilor şi uniformizării lor.

Oţelurile aliate cu crom o,8-1,5% de construcţie cu structura perlitică se tratează termic prin recoacere,normalizare,călire şi revenire şi termochimic prin cementare.Temperatura de austenitizare este de 820-850°C.Pentru călire se recomandă ca mediu de răcire - uleiul,cînd se obţine o adîncime mare de călire (25-3o mm).Pentru prevenirea fragilităţii de revenire,se recomandă răcirea pieselor în ulei sau apă de la temperatura de revenire.

Aceste oţeluri sînt destinate pieselor din industria de autovehicole şi sculelor: roţi dinţate,arbori,biele,cilindri,buloane, rulmenţi,stanţe,calibre,şabloane,tarozi etc.

Oţelurile aliate cu 12-14%Cr şi cu 1,2-2,2%C călite şi revenite la 500-550°C au o mare rezistenţă la uzare şi sînt destinate

confecţionării de scule pentru deformare plastică (dălţi,ciocane, role de laminoare),de aşchiere (cuţite,tarozi,filiere) şi pentru măsurare (calibre,şabloane).

Oţelurile inoxidabile cu peste 12% Cr şi puţin carbon (o,1-o,15% C) cu structura feritică călite de punere în soluţie de la 1000-1100°C şi revenite la 300-400°C,se folosesc pentru fabricarea de instrumente chirurgicale,tacîmuri,recipiente rezistente la acţiunea acizilor,rulmenţi inoxidabili (reveniţi la 180°C),schimbătoare de căldură etc.

Oţelurile cu 25-30% Cr şi sub o,35% C au o structură feritică şi nu prezintă transformări de fază.Călirea lor se face de la 800-900°C cu răcire în apă sau ulei,iar revenirea la temperaturi sub 400°C.

5.2.3.Tratamentul termic al oţelurilor aliate cu siliciu

Siliciul,element alfagen,este solubil în fier pînă la 14%, reduce conţinutul de carbon din perlită,iar cînd în oţel există mult carbon determină grafitizarea lui.

Siliciul măreşte călibilitatea şi sensibilitatea la supraîncălzire a oţelurilor.Siliciul măreşte duritatea,rezistenţa şi elasticitatea feritei,micşorează rezistenţa şi plasticitatea oţelurilor,provocînd apariţia fragilităţii la temperatura ambiantă.Sporeşte permeabilitatea magnetică,rezistivitatea electrică,reduce pierderile prin curenţi Foucault,reduce conductibilitatea termică, măreşte rezistenţa la oxidare la temperaturi înalte şi la coroziune în acid sulfuric şi azotic.

Incălzirea pentru austenitizare în vederea recoacerii sau călirii este imediat peste A_{c3}(820-860°C) pentru a preveni separarea grafitului.Oţelurile aliate cu Si se revin la temperaturi de 400-500°C cînd în structură se obţine troostită,iar elasticitatea este

maximă.

Creşterea temperaturii de revenire determină scăderea durităţii, fig.2o2. Siliciul micşorează adîncimea de cementare şi face posibilă apariţia grafitului în stratul cementat.

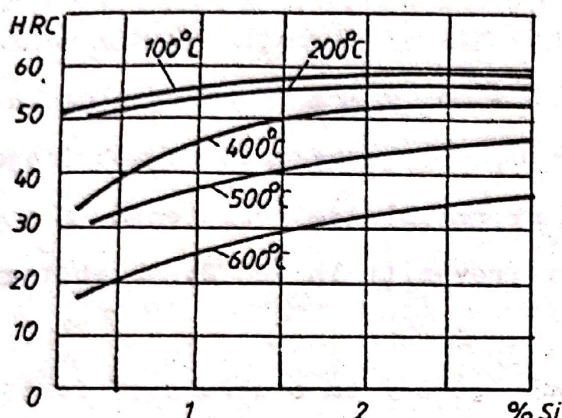


Fig.2o2. Influenţa conţinutul de Si asupra durităţii oţelurilor revenite la diverse temperaturi.

Oţelurile aliate cu siliciu, de construcţie, ce conţin o,8-1,1% Si şi o,1-o,15% C se utilizează pentru piese turnate care nu se prelucrează mecanic ulterior.

Dacă conţinutul de carbon este pînă la o,75% şi de Si pînă la 3% oţelurile călite şi revenite sînt destinate arcurilor.

Oţelurile cu o,1% C şi 1-4,2% Si sînt oţeluri electrotehnice, iar cele cu o,6% C şi 12-18% Si sînt anticorozive în acizi.

5.2.4. Tratamentul termic al oţelurilor aliate cu nichel

Nichelul, element gamagen, este total solubil în fier, care măreşte călibilitatea, măreşte tenacitatea, micşorează coeficientul de dilatare liniară, măreşte rezistivitatea oţelurilor şi deplasează curbele TTT la dreapta.

Oţelurile cu nichel în urma răcirii în aer liber pot avea structura: perlitică, martensitică sau austenitică.

Oţelurile aliate cu Ni se utilizează în stare recoaptă, călite, revenite şi cementate. Călirea se face din domeniul austenitic cu răcire în apă sau ulei, iar revenirea se aplică la 400-450°C cînd se obţin rezistenţa şi rezilienţa maxime.

Oţelurile perlitice aliate cu o,5-o,6% Ni, sînt oţeluri de construcţie (roţi dinţate, arbori cu came, palete de turbină, biele).

Oţelurile austenitice aliate cu 25-46%Ni sînt oţeluri cu proprietăţi fizice speciale: coeficient mic de dilatare (invar,elinvar,platinit), inoxidabile şi refractare.

5.2.5. Tratamentul termic al oţelurilor aliate cu wolfram

Wolframul,element alfagen, este solubil în fier pînă la 6%. Deasemeni formează cu fierul compusul Fe_3W_2,iar cu carbonul formează carburi stabile WC şi W_2C care se descompun la temperaturi de 27oo°C

In urma tratamentelor termice,wolframul favorizează finisarea structurii.Wolframul măreşte călibilitatea,micşorează fragilitatea la revenire,micşorează mult viteza critică de călire,măreşte stabilitatea termică la revenire şi micşorează sensibilitatea la supraîncălzire a oţelurilor.

Structura oţelurilor aliate cu wolfram poate fi perlitică şi ledeburitică (cu carburi).

Intrucît wolframul îngustează mult domeniul austenitic şi formează carburi cu uşurinţă,fapt ce determină scăderea conţinutului de carbon din austenită,este posibil ca la un anumit conţinut de wolfram oţelurile să nu se mai poată căli la martensită.Din acest motiv,trebuie să existe un raport favorabil călirii între carbon şi wolfram,fig.2o3.

Temperatura de încălzire pentru călire trebuie să fie ridicată (peste 1200°C) pentru a asigura dizolvarea unei cantităţi cît mai mari de carburi în austenită.Cu cît temperatura de încălzire pentru călire creşte, cu atît creşte şi cantitatea de austenită reziduală (aceasta devenind mai stabilă) şi cu atît va creşte temperatura de revenire. Eliminarea cantităţii de austenită reziduală se face prin aplicarea de reveniri multiple sau prin tratamente termice la temperaturi sub 0°C.Oţelurile aliate cu mult wolfram şi puţin carbon sînt susceptibile durificării prin precipitare (îmbă-

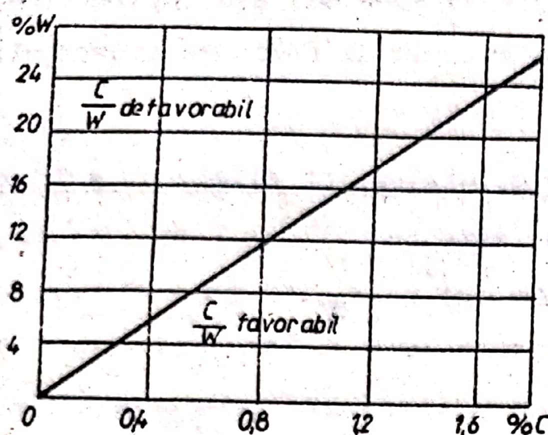


Fig.2o3.Raportul între carbon şi wolfram în oţelurile aliate călibile.

trînirii).In acestea,după o călire de punere în soluţie de la temperaturi înalte (peste 1200°C) se obţine o ferită puternic suprasaturată în wolfram,din care în timpul încălzirii ulterioare pînă la 700-800°C va precipita fin dispers wolframuri de fier care fac ca duritatea să crească de 2-3 ori.

Oţelurile aliate cu wolfram sînt în general oţeluri de scule (rapide) autocălibile şi oţeluri pentru magneţi permanenţi.Incălzirea oţelurilor aliate cu wolfram se face cu viteză mică sau în trepte deoarece au o conductibilitate termică redusă.

5.2.6. Tratamentul termic al oţelurilor aliate cu molibden

Molibdenul,element alfagen,este solubil n fier pînă la 6-8%. Formează cu fierul două combinaţii intermetalice Fe_3Mo_2 şi FeMo.Deasemeni formează uşor cu carbonul carburi de forma Mo_2C stabilă pînă la peste 2000°C şi $(FeMo)_3C$.Formarea carburilor duce la micşorarea conţinutului de carbon din austenită.

Molibdenul are aceeaşi influenţă ca şi wolframul,dar de trei ori mai pronunţat: finisează structura,măreşte călibilitatea,micşorează tendinţa de supraîncălzire,elimină fragilitatea de revenire şi măreşte termostabilitatea de revenire.

După tratamentele termice toate proprietăţile de rezistenţă şi plasticitate ale oţelurilor cu molibden cresc,fig.2o4. La conţinuturi de peste 2% Mo în oţelurile cu conţinut mediu de carbon,rezistenţa mecanică scade datorită scoaterii carbonului din soluţia

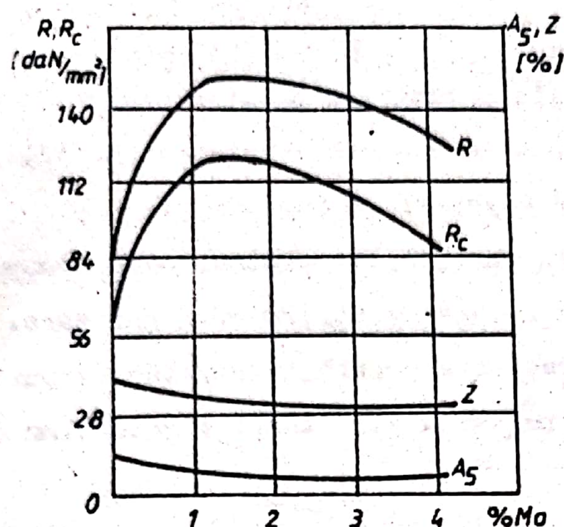


Fig.204.Influența conținutului de molibden asupra proprietăților mecanice ale unui oțel cu 0,5%C după călire de la 930°C și revenire la 550°C.

solidă și legarea lui în carburi.Oțelurile cu molibden se încălzesc pentru tratamentele termice cu viteză mică și la temperaturi ridicate (1200°C) pentru a se preveni formarea tensiunilor termice și a se dizolva o cantitate cît mai mare de carburi în austenită mărindu-i gradul de omogenizare.Oțelurile cu peste 6-8% Mo și puțin carbon se pot durifica prin precipitare (îmbătrînire). Răcirea pentru călire a oțelurilor cu mult carbon (0,7-1%C) și molibden (2-6%Mo) se face în aer liber sau ulei,avînd o viteză critică de călire redusă. In aceste oțeluri austenita reziduală se elimină prin reveniri multiple sau prin răcire la temperaturi criogenice. Oțelurile cu molibden 0,4-0,5% și 0,1-0,3% C sînt refractare; rezistă pînă la 500°C.

In oțelurile de construcție se adaugă 0,15-0,25% Mo în scopul îmbunătățirii proprietăților de rezistență.

5.2.7. Tratamentul termic al oțelurilor aliate cu vanadiu

Vanadiul,element alfagen,este solubil total în fier și formează cu fierul compusul FeV,iar cu carbonul carburile VC și V_4C_3 foarte dure și stabile (se descompun la peste 2200°C).

Cantități mici de vanadiu în oțeluri determină finisarea structurii și duce la creșterea proprietăților de rezistență,refractarizate și de elasticitate.Creșterea acestor proprietăți se manifestă în special după călire și revenire.

Temperatura de călire şi de revenire a acestor oţeluri este mult superioară oţelurilor carbon.Se observă creşterea durităţii şi a limitei de curgere numai după reveniri la 550-600°C.

Duritatea este cu atît mai mare cu cît conţinutul de vanadiu este mai ridicat şi cu cît temperatura de călire este mai mare.

Vanadiul contribuie la creşterea durităţii straturilor nitrurate.Deasemenea contribuie la finisarea structurii straturilor cementate.

5.2.8. Tratamentul termic al oţelurilor aliate cu crom şi nichel

Oţelurile aliate Cr-Ni sînt cele mai utilizate oţeluri datorită complexului deosebit de proprietăţi mecanice şi tehnologice ce le posedă.

Sînt caracterizate printr-o călibilitate foarte mare şi proprietăţi de rezistenţă şi plasticitate ridicate, inclusiv rezistenţă la oboseală şi rezilienţă.Singura deficienţă a oţelurilor aliate Cr-Ni constă în fragilitatea de revenire accen ıată.

Structura acestor oţeluri după răcirea în aer liber poate fi: ferito-perlitică,martensitică sau austenitică,fig.2o5.

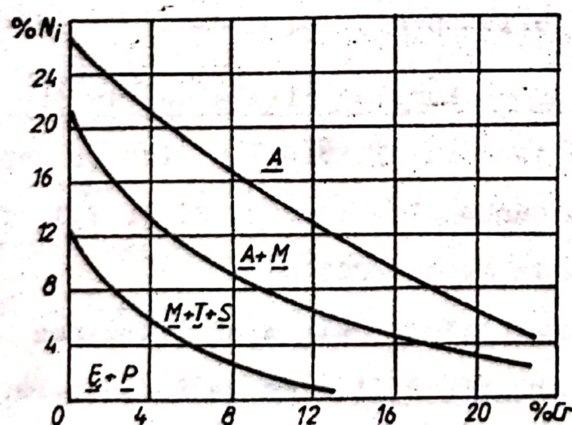


Fig.2o5.Diagrama structurilor oţelurilor crom nichel.

Oţelurile Cr-Ni cu conţinut mic de carbon,de crom şi de nichel sînt oţeluri de cementare ferito-perlitice,care se călesc fie direct de la 860°C în ulei după cementare sau se călesc dublu pentru miez şi pentru strat.Revenirea acestor oţeluri se face la 150-200°C.Oţelurile de construcţie Cr-Ni ce conţin peste o,3% C sînt de îmbunătăţire;

ele se călesc de la 800-840°C în ulei apoi se revin înalt la 450-600°C cînd se răcesc în apă sau ulei pentru a preveni fragilitatea de revenire.

Proprietăţile de rezistenţă scad,iar proprietăţile de plasticitate cresc odată cu creşterea temperaturii de revenire a acestor oţeluri,fig.2o6.Oţelurile inoxidabile Cr-Ni (18%Cr; 8%Ni şi sub o,15% C) au structura austenitică, se ecruisează uşor,sînt nemagnetice,refractare,foarte tenace la rece şi au o sudabilitate bună.

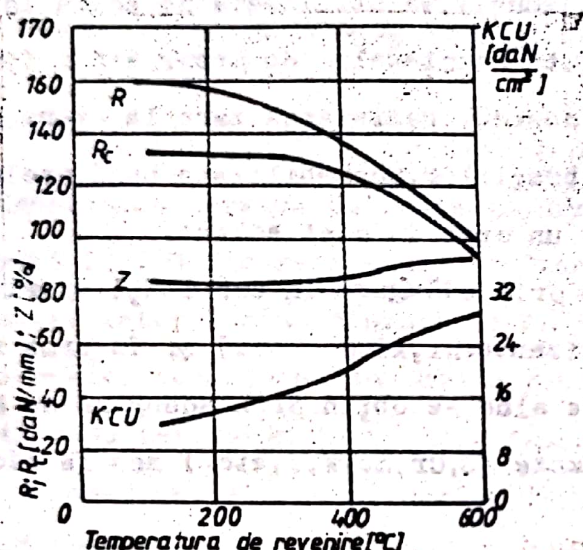


Fig.2o6.Variaţia proprietăţilor mecanice cu temperatura de revenire a unui oţel aliat cu o,75% Cr; 3% Ni; o,14% C.

Aceste oţeluri se călesc de punere în soluţie de la 1050°C cînd au proprietăţi maxime de tenacitate şi anticorozive.La răcirea în ulei sau aer liber,precipită carburi de crom,favorizînd fenomenul de coroziune intercristalină,fenomene care se elimină prin adausuri de Ti sau Nb.

Cap.VI. TRATAMENTELE TERMICE SI TERMOCHIMICE ALE FONTELOR

Fontele sînt aliajele Fe-C ce conţin între 2,11-6,67% C,Si, Mn,S,P şi alte elemente însoţitoare,destinate turnării.In funcţie de forma de existenţă a carbonului,liber sau legat în cementită,fontele sînt cenuşii sau albe.

Fontele,în special cele cenuşii,se utilizează pe scară largă în construcţia de maşini datorită complexului de proprietăţi fizico-mecanice şi tehnologice ce le posedă: rezistenţă mare la uzare,capacitate mare de amortizare a vibraţiilor,turnabilitate bună,prelucrabilitate bună prin aşchiere şi un preţ de cost scăzut.

Fontele cenuşii se obţin prin adăugare în cantităţi sporite de Si sau alte elemente grafitizante(Ni,Al,Cu,etc.) şi în urma răcirii cu viteze lente,iar fontele albe se obţin prin adăugare de Mn sau alte elemente antigrafitizante (S,Cr,Mo,W,V,etc.) sau la răciri cu viteze mari.

Proprietăţile fontelor sînt influenţate de structura iniţială, de gradul de dispersie al constituienţilor şi compoziţia chimică; ele pot fi modificate pregnant atît prin modificarea structurii iniţiale cît şi prin aplicarea de tratamente termice şi termochimice.

6.1. Tratamente termice aplicate fontelor

Tratamentele termice aplicate fontelor urmăresc următoarele scopuri: înlăturarea tensiunilor interne,înmuierea pieselor turnate, stabilizarea dimensiunilor,îmbunătăţirea prelucrabilităţii prin aşchiere,creşterea unor proprietăţi mecanice.

Tratamentele termice aplicate fontelor cenuşii sînt asemănătoare celor aplicate oţelurilor: recoacerea de detensionare,recoacerea pentru ameliorarea prelucrabilităţii prin aşchiere,recoacerea de înmuiere,normalizarea,călirea pătrunsă şi superficială şi reve-

nirea.

Fontele albe se supun recoacerii de maleabilizare în urma căreia cementita se descompune total sau parțial în grafit și ferită, transformînd fontele albe în fonte cenușii, denumite fonte maleabile.

6.1.1. Recoacerea de detensionare a fontelor

Este un tratament termic specific pieselor turnate din fontă cenușie sau albă în scopul eliminării parțiale sau totale a tensiunilor interne.

In funcție de dimensiunile și complexitatea formei pieselor, tensiunile termice obținute în urma turnării, pot atinge valori de pînă la 70% din rezistența la încovoiere a fontei respective. Tensiunile interne sînt cauzate de faptul că solidificarea și contracția pieselor turnate nu se produc simultan și cu aceeași viteză în toată masa lor. Forma de turnare împiedică contracția liberă a diverselor porțiuni din piese, ducînd deasemeni la formarea tensiunilor. După turnare tensiunile interne formate în piese sînt echilibrate, însă prin prelucrări de așchiere, acest echilibru se distruge, iar tensiunile interne existente duc la deformații și chiar la distrugerea pieselor.

Tensiunile interne în piesele de fontă, apar și în urma unor operații de așchiere de degrosare.

Eliminarea tensiunilor interne din piesele din fontă, după turnare sau așchiere de degrosare se realizează fie pe cale naturală prin menținere la temperatura ambiantă un timp îndelungat (2-8 luni), cînd se înlătură cca 50% din tensiunile interne inițiale, fie prin încălzirea lentă (50-400°C/h) a pieselor pînă la temperaturi de 500-600°C, mențineri de 3-4 ore pentru fiecare 25-30 mm grosime, urmate de răciri cu viteză mică (30-250°C/h), fig.207.

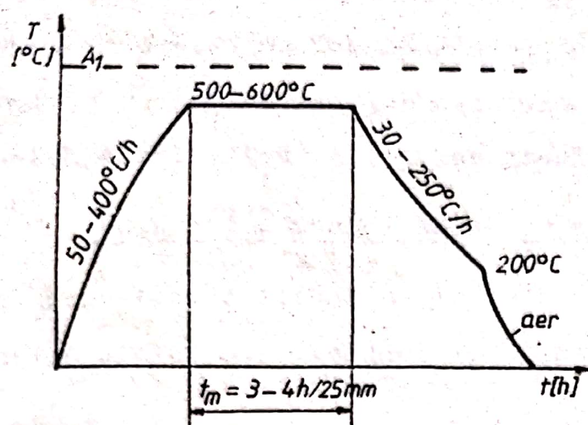


Fig.2o7.Graficul recoacerii de detensionare a fontelor.

Parametrii tehnologici ai recoacerii de detensionare a fontelor sînt în funcţie de forma grafitului şi rezistenţa mecanică a fo..lor.Astfel,cu cît rezistenţa la rupere a fontei creşte cu atît temperatura de recoacere creşte spre valoarea de 600°C,timpul de menţinere creşte spre 4 ore, iar viteza de răcire scade.Fontele cu grafit nodular se detensionează la temperaturi şi durate mai mari decît fontele cenuşii.Fontele maleabile nu se detensionează deoarece tensiunile se elimină prin recoacerea de maleabilizare.Nerespectarea parametrilor tehnologici ai recoacerii de detensionare duce la fenomene de globulizare a perlitei sau de grafitizare a fontei cu efecte nefavorabile asupra proprietăţilor pieselor din fontă.

Influenţa temperaturii de încălzire şi a duratei de menţinere asupra eliminării tensiunilor interne este dată în fig.2o8.Cu cît temperatura şi durata sînt mai mari cu atît eliminarea tensiunilor se face mai complet,însă apare pericolul descompunerii cementitei în ferită şi grafit (grafitizarea fontelor).Fenomenul de grafitizare ce apare la recoacerea de detensionare este cu atît mai accentuat

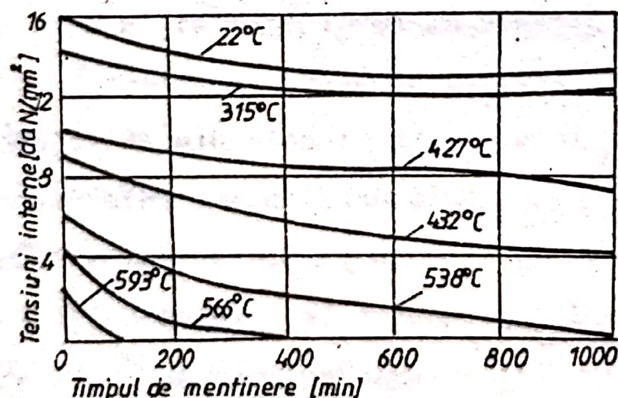


Fig.208.Influenţa temperaturii de încălzire şi timpului de menţinere asupra gradului de detensionare a fontelor.

şi se produce la temperaturi cu atît mai joase cu cît cantitatea de siliciu din fontă este mai mare,fig.209.

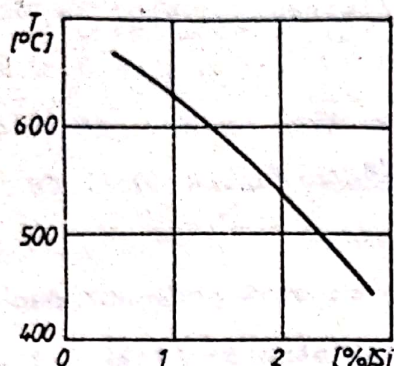


Fig.209.Influenţa Si asupra temperaturii de început de grafitizare în timpul recoacerii de detensionare a fontelor.

Eliminarea tensiunilor interne din piesele din fontă se poate realiza mai economic şi cu rezultate foarte bune prin vibrare.Se folosesc vibratori ce realizează forţe de vibrare de cca 4 daN/mm^2,la frecvenţe de minim 3000 vibraţii/min.Detensionarea se realizează în acest caz la temperatura ambiantă şi într-un timp mai scurt(2h)

6.1.2. Recoacerea de înmuiere a fontelor

Se aplică pieselor turnate din fontă care au la suprafaţă un strat albit foarte dur în scopul ameliorării prelucrabilităţii prin aşchiere.

Se aplică deasemeni şi pieselor din fontă care conţin în întreaga masă metalică cementită liberă sau ledeburită pe lîngă perlită şi grafit ca urmare a unei viteze prea mari de răcire în urma turnării.

In timpul recoacerii de înmuiere,cementita se descompune în ferită şi grafit şi prin aceasta duritatea pieselor scade foarte mult (de la 350-400 HB la 160-210 HB) îmbunătăţindu-se aşchiabilitatea.

Structura finală a fontelor după recoacerea de înmuiere poate fi formată din perlită,ferită şi grafit,din ferită şi grafit sau din perlită şi grafit.Cu cît cantitatea de ferită este mai mare cu atît duritatea va fi mai mică.

Cementita se descompune cu atît mai greu cu cît în fontă se află elemente ce formează carburi Cr,W,Mo.Mn,V,etc.şi cu atît mai

uşor cu cît fonta conţine mai mult Si, Ni, Cu, etc.

Recoacerea de înmuiere constă din încălzirea pieselor la temperaturi sub sau peste A_{C1}, (680-750°C pentru fontele nealiate şi de 780-900°C pentru fontele aliate), menţinere un timp îndelungat (o oră pentru fiecare 25 mm grosime a piesei), urmată de răcire odată cu cuptorul pînă la 300°C apoi în aer liber.

Cu cît temperatura de încălzire creşte cu atît procesul descompunerii cementitei se accelerează, iar cantitatea de perlită din structură scade. Prin ridicarea temperaturii de încălzire la 1100-1150°C, în băi de săruri, cementita se descompune complet şi foarte rapid (în 3-5 minute).

Cînd se urmăreşte şi descompunerea cementitei din perlită şi obţinerea în final a unei structuri feritice se introduce o treaptă de menţinere sub A_1, fig.210. Cu cît menţinerea e mai lungă cu atît cantitatea de ferită e mai mare.

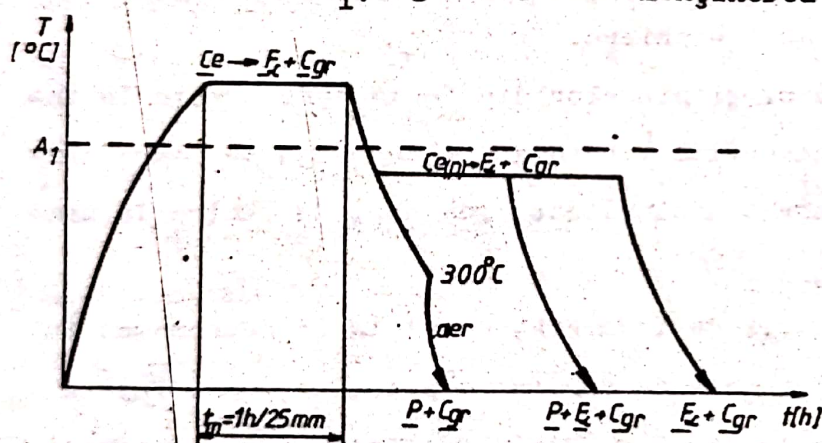


Fig.210. Graficul recoacerii de înmuiere a fontelor cu strat albit.

Fontele cu grafit nodular care conţin în structură cementită liberă, se supun unei recoaceri de înmuiere care constă în încălzire la 950°C, menţinere 1-4 ore, urmată de răcire lentă cu cuptorul pînă la 300°C apoi în aer liber.

6.1.3. Normalizarea fontelor

Se aplică fontelor cenuşii cu structura iniţială feritică sau ferito-perlitică cu multă ferită, în scopul creşterii proprietăţilor

mecanice de duritate şi rezistenţă la uzare.

Constă în încălzirea pieselor din fontă la temperaturi peste A_{C3} (850–950°C), menţinere de o oră pentru fiecare 25 mm grosime şi răcire în aer liber, fig.211. In timpul încălzirii şi menţinerii la temperatură, are loc creşterea concentraţiei în carbon a austenitei (sursa de carbon fiind grafitul), iar în timpul răcirii, austenita cu concentraţia în carbon mai apropiată de eutectoid, va trece într-o măsură mai mare în perlită decît în ferită. Creşterea cantităţii de perlită prin normalizare este cauza creşterii durităţii de la 130-160 HB la 250-270 HB şi rezistenţei la uzare.

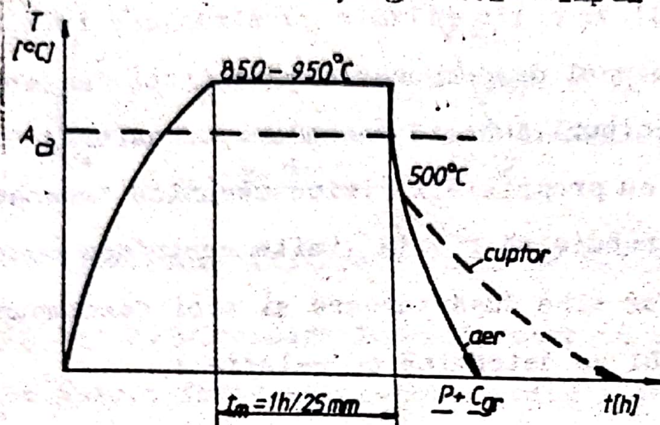


Fig.211. Graficul recoacerii de normalizare a fontelor.

Normalizarea se aplică, în general, pieselor din fontă ce au multă ferită în structură şi care urmează a fi călite.

Prin normalizare creşte cantitatea de carbon legat în cementită peste 0,45% C, mărindu-se astfel capacitatea de călire a fontelor. Pentru a evita deformările pieselor cu configuraţie complexă şi cu pereţi subţiri, acestea se răcesc în aer suflat pînă la 500°C apoi se introduc şi se răcesc odată cu cuptorul (curba punctată din fig.211). Prezenţa elementelor de aliere Ni, Mo şi V măresc substanţial duritatea după normalizare.

Uneori se recomandă aplicarea unei recoaceri de detensionare după normalizare.

Normalizarea se aplică şi fontelor cu grafitul nodular sau în cuiburi, în scopul creşterii cantităţii de perlită din structură

şi a creşterii durităţii şi rezistenţei la uzare ale acestora.

6.1.4. Recoacerea de maleabilizare

Se aplică pieselor turnate din fontă albă hipoeutectoidă cu puţin carbon (2,5-2,7% C) şi puţin siliciu cu structura iniţială perlito-cementitică, în scopul descompunerii cementitei în ferită şi separării de grafit în cuiburi. Această recoacere transformă fontele albe în fonte maleabile cu proprietăţi fizico-mecanice îmbunătăţite.

Conţinutul de Si trebuie să fie în limite restrînse pentru a permite obţinerea fontelor albe după turnare şi apoi descompunerii cementitei la recoacere. El se determină cu relaţia :

$$\%Si = \frac{6,3 - \lg S + C_{tot}}{0,5(C_{leg} + 2,5)}$$

unde C_{tot} - conţinutul de carbon total; C_{leg} - conţinutul de carbon legat în cementită; S - grosimea pereţilor în [mm].

Se cunosc două procedee de obţinere a fontelor maleabile: recoacerea de maleabilizare prin grafitizare şi recoacerea de maleabilizare prin decarburare.

6.1.4.1. Maleabilizarea prin grafitizare

Constă în încălzirea pieselor turnate din fontă albă cu 2,1-2,8% C; 1,7-2,0% Si; 0,3-0,65% Mn; 0,06-0,2% S; 0,08-0,15% P, la temperaturi de 950-1000°C, menţinere 12-15 ore, urmată de o răcire dirijată; răcire lentă (2-3°C/h) în momentul traversării punctului critic A_1 sau menţinere 30-40 ore sub A_1 - curbele 1 şi 1a din fig. 212. Piesele se încălzesc în mediu neutru solid (nisip sau şamotă) sau gazos (metodă recentă).

Structura obţinută după această recoacere este formată din ferită şi grafit în cuiburi sau grafit de recoacere, iar fontele au

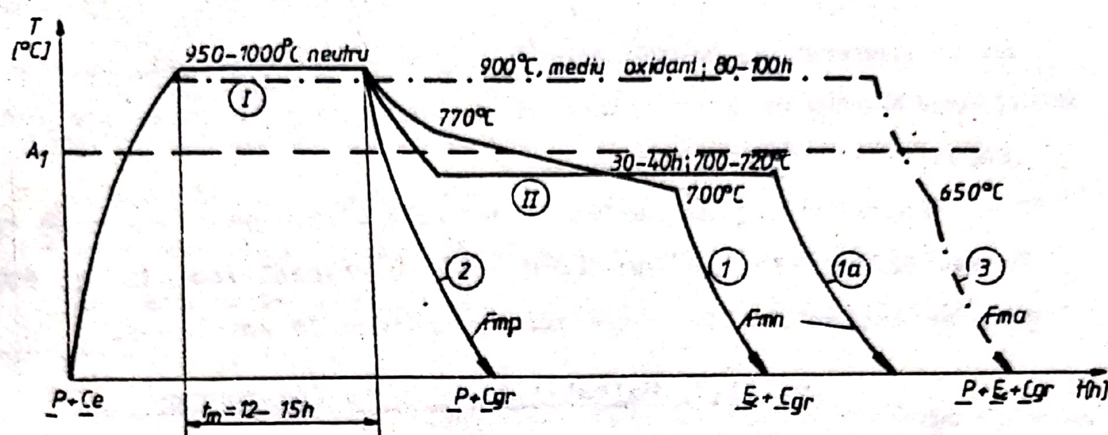


Fig.212.Graficul recoacerii de maleabilizare a fontelor albe.

în casură o culoare închisă datorită conţinutului mare de grafit şi se numesc fonte maleabile cu miez negru (Fmn).

Fenomenul de grafitizare are loc în două stadii.Stadiul I de grafitizare se produce la menţinerea la temperatura de 950-1000^{o}C, cînd cementita liberă din fonta albă se descompune în ferită şi grafit sub formă de cuiburi.Stadiul II de grafitizare se produce la răcirea lentă între 770-700^{o}C (intervalul transformării perlitice) sau la menţinerea sub A_1(700-720^{o}C),cînd cementita din perlită se descompune în ferită şi grafit în cuiburi.Astfel,după recoacerea de maleabilizare prin grafitizare în structura feritei nu mai există cementită şi perlită ci numai ferită şi grafit.

Se preferă varianta cu răcire lentă în domeniul perlitic deoarece este mai productivă,stadiul al II-lea avînd o durată mai scurtă.

In condiţiile răcirii cu viteză insuficient de mică în domeniul perlitic sau menţinerii mai puţin îndelungate sub A_1,stadiul II de descompunere a cementitei din perlită se produce incomplet, iar în structură pe lîngă ferită şi grafit va apare şi perlita.

Răcind piesele continuu cu viteză relativ mare (cu cuptorul)

de la temperatura de 950-1000°C (curba 2 din fig.212), se evită al II-lea stadiu de grafitizare şi se obţin fontele maleabile perlitice (Fmp).

Pentru a obţine perlita sub formă globulară, piesele se răcesc în aer suflat pînă la 100-200°C, apoi se reîncălzesc pînă la 680-700°C unde se menţin 3-4 ore după care se răcesc în aer liber.

6.1.4.2. Maleabilizarea prin decarburare

Constă în încălzirea pieselor din fontă albă cu 2,7-3,2% C; o,6-o,9% Si; o,2-o,5% Mn; o,o8-o,25% S; o,o5-o,15% P la temperaturi de 900°C, menţinere îndelungată de 80-100 ore, urmată de răcire lentă pînă la 650°C apoi în aer liber, curba 3 din fig.212.

Incălzirea pieselor are loc într-un mediu oxidant (minereu de fier). Acest lucru face ca stratul superficial al pieselor să se decarbureze puternic. Structura pieselor, în final, este formată din ferită fără grafit la exterior şi din perlită sau perlită şi ferită cu grafit în cuiburi în interiorul lor. Astfel, în casură aceste fonte au miezul alb şi ele se numesc fonte maleabile cu miezul alb (Fma). Această variantă de maleabilizare, prin decarburare, se utilizează în practică mai rar.

Fontele maleabile obţinute prin recoacere de maleabilizare prezintă proprietăţi mecanice ridicate: R = 3o-7o daN/mm^2; HB = 15o-28o şi A = 2 - 14% şi o prelucrabilitate ridicată prin aşchiere.

S-a observat că durata totală a recoacerii de maleabilizare se reduce cu 25-4o% dacă fonta albă lichidă la turnare a fost dezoxidată şi denitrurată cu o,o15% Al remanent. Deasemeni ciclul de recoacere de maleabilizare poate fi scurtat dacă în prealabil, după turnare, piesele din fontă albă se călesc şi se revin la 250-350°C.

6.1.5. Călirea fontelor

Călirea fontelor se aplică în scopul creşterii durităţii sau creşterii proprietăţilor mecanice cînd este urmată de revenire.

Prin călire, fontele îşi modifică structura masei metalice fără a se modifica forma,distribuţia şi cantitatea grafitului.

Se aplică în special fontelor modificate cu grafit acicular sau globular şi fontelor maleabile.

Pentru ca fontele cenuşii să poată fi călite trebuie să aibă un conţinut de carbon legat în cementită de peste o,45% C.Atunci cînd conţinutul de carbon legat în cementită este sub o,45% C structura fontelor este feritică sau ferito-perlitică şi lor li se aplică în prealabil o normalizare pentru a face posibilă călirea.

Parametrii tehnologici ai tratamentului termic de călire a fontelor se determină pe cale experimentală.

Temperatura de austenitizare optimă pentru călire,care asigură o duritate maximă,este cuprinsă între 880-900°C, fig.213 şi este funcţie de conţinutul de Si şi Mn.Ea poate fi determinată cu relaţiile:

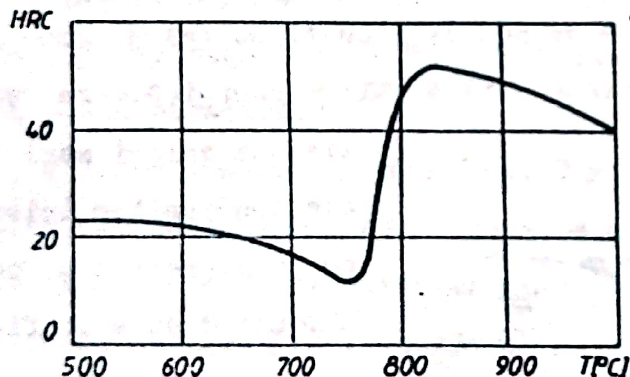


Fig.213.Influenţa temperaturii de călire asupra durităţii fontelor.

$Ti=810+25\cdot Si-2o$ Mn.pentru fonte cu grafit lamelar şi

$Ti=835+25\cdot Si-2o$ Mn pentru fonte cu grafit nodular.

Cu cît durata de menţinere şi temperatura de încălzire sînt mai mari cu atît austenita va dizolva mai mult carbon şi după călire se va transforma într-o martensită mai dură,fig.214.Durata de menţinere se ia cca 2o minute pentru fiecare 25 mm grosime a pereţilor.

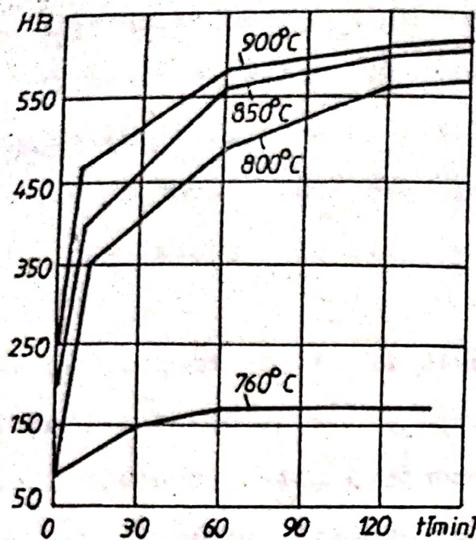


Fig.214.Influenţa temperaturii de încălzire şi a duratei de menţinere asupra durităţii fontelor după călire.

Elementele de aliere, în general, măresc temperatura de încălzire şi durata de menţinere pentru călire. Incălzirea la temperaturi mai mari este necesară pentru a se asigura un grad de omogenizare crescut al austenitei.

Răcirea pentru călire a fontelor cenuşii are loc în ulei, iar dacă sînt aliate, avînd o viteză critică scăzută, răcirea se poate efectua chiar în aer suflat.

In urma călirii, fontele cenuşii au structura formată din martensită, austenită reziduală şi grafit, care asigură o duritate de 450-550 HB.

Piesele din fontă cenuşie se pot căli continuu (a) şi izoterm (b), fig.215. Călirea continuă este o călire energică, care realizează valori mari ale tensiunilor interne în piesele din fontă, putînd duce la fisurarea acestora.

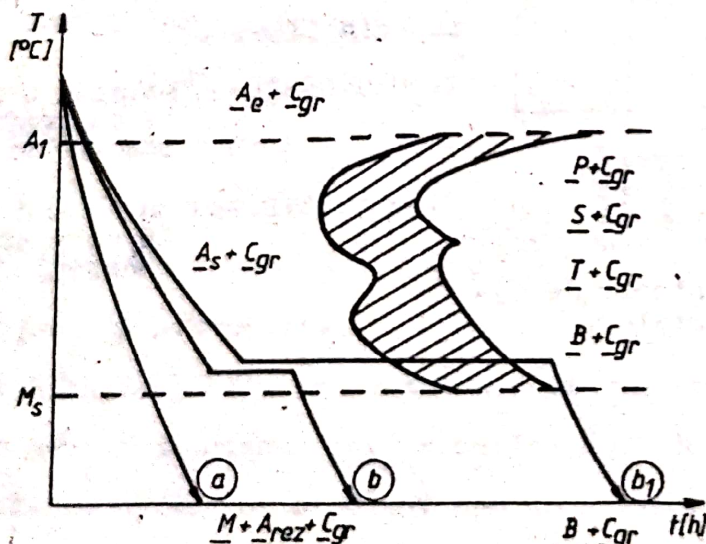


Fig.215.Graficul călirii pătrunse a fontelor: a-călire continuă; b-călire izotermă martensitică; b_1-călire izotermă bainitică.

Călirea izotermă asigură o structură fie martensitică (b), fie bainitică (b_1) şi constă în răcirea bruscă a pieselor pînă deasupra punctului M_S, men-

ţinere pînă la, sau după curbele de transformare şi apoi răcire cu , viteză mai mică.Ea prezintă o serie de avantaje: tensiuni interne de valori scăzute,permite obţinerea unor proprietăţi de rezistenţă la uzare şi oboseală superioare şi elimină operaţia de revenire cînd structura este bainitică.

Dezavantajul călirii izoterme a fontelor constă în dificultatea determinării punctului de început de transformare martensitică (M_S) şi a perioadei de stabilitate a austenitei subrăcite.

Pentru practică,determinarea lui M_S se poate face cu relaţia:

$$M_S = 500 - 300 \cdot C - 33\ Mn - 11 \cdot Si \quad [^{o}C]$$

In urma călirii izoterme a fontelor la bainită,se obţin proprietăţi foarte mari de rezistenţă şi tenacitate (R=80-100 daN/mm^2; A= 2-3%; KCU= 2-5 daJ/cm^2; HB=300-350).

Călirea izotermă se aplică cu deosebit succes fontelor cenuşii cu grafit nodular şi fontelor albe hipoeutectice aliate cu crom (1,5-2,5%) şi nichel (3,5-5%),destinate pieselor puternic solicitate la uzură abrazivă.

Călirea superficială se aplică pieselor din fontă cu grafit nodular sau maleabile care trebuie să posede o duritate şi rezistenţă la uzură mari la exterior şi o tenacitate bună a miezului.Se realizează prin aceleaşi metode ca şi în cazul oţelurilor.Se supun călirii superficiale diverse piese (arbori cotiţi,ghidajele batiurilor maşinilor unelte,roţi dinţate,cămăşi de cilindri,etc.)care în prealabil au fost normalizate şi detensionate.

Prin acest procedeu,se obţin straturi superficiale foarte dure (45-65 HRC) cu structură formată din martensită şi grafit acicular sau nodular fin.

6.1.6. Revenirea fontelor

Se aplică după călirea continuă, călirea superficială sau izotermă martensitică a fontelor cenuşii, în scopul eliminării tensiunilor interne, micşorării durităţii şi creşterii proprietăţilor de rezistenţă şi tenacitate.

In timpul revenirii, în funcţie de temperatura de încălzire martensita se descompune în amestecuri bifazice: B, I, S, iar austenita reziduală se transformă în martensită. Grafitul nu suferă nici o modificare.

Pentru ca tensiunile mari după călire să nu producă efectul de deformare, revenirea se aplică imediat după călire şi uneori chiar înainte ca piesele să atingă temperatura camerei.

Parametrii tehnologici ai revenirii fontelor se aleg în funcţie de proprietăţile dorite a fi obţinute în final.

Alegerea temperaturii de revenire se face utilizînd diagrame de variaţie a caracteristicilor mecanice în funcţie de temperatura de revenire, fig.216. Astfel, pentru a obţine duritate mare se aplică o revenire joasă la 150-180°C, pentru a obţine rezistenţă maximă la rupere se aplică o revenire medie la 300-400°C, iar pentru a obţine o rezilienţă maximă şi o bună prelucrabilitate se aplică o revenire înaltă la 550-600°C (tratament termic de îmbunătăţire).

Durata de menţinere la temperatura de revenire se alege cca o oră pentru fiecare 25 mm grosime a pereţilor pieselor din fontă.

După călirea superficială se aplică în mod obligatoriu o revenire joasă în scopul detensionării şi menţinerii unei durităţi ridicate.

La revenirea fontelor aliate cu Cr şi Ni apare fenomenul de fragilitate la revenire. De aceea, trebuiesc evitate temperaturile de revenire cuprinse între 500-550°C pentru aceste fonte.

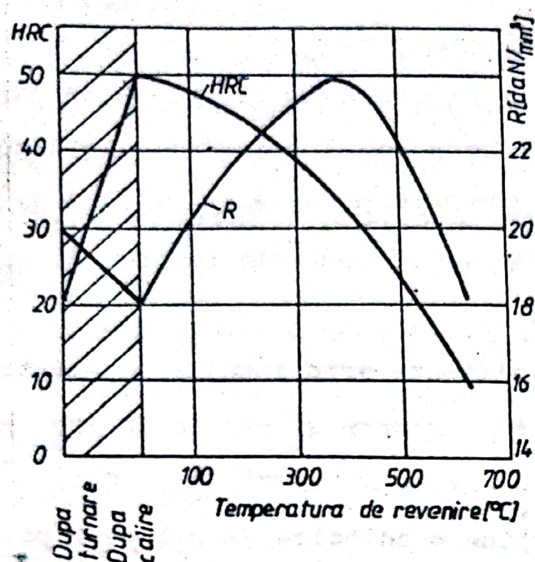


Fig.216.Variaţia durităţii şi rezistenţei la rupere a fontelor cu temperatura de revenire.

6.2. Tratamente termochimice aplicate fontelor

Piesele din fontă cenuşie care trebuie să posede în straturile superficiale proprietăţi deosebite cum sînt: duritate mare,rezistenţă mare la uzare, rezistenţă la coroziune şi oxidare la temperaturi înalte,păstrînd simultan un miez cu o oarecare tenacitate,se supun tratamentelor de nitrurare,aluminizare,cromizare şi silicizare.

6.2.1. Nitrurarea fontelor

Constă în saturarea straturilor superficiale a fontelor, în special aliate cu Cr,Al şi Mo, cu azot.Duritatea mare (980-1050 HV) a straturilor superficiale este dată de formarea nitrurilor de Cr, Al şi Mo foarte stabile şi dure.In general se supun nitrurării fontele cu puţin grafit şi care au următoarea compoziţie chimică:2,5-2,8% C; 1-2,5% Si; o,3-o,7% Mn; 1,2-1,5% Cr; o,8-1,2% Al; o,2-o,4% Mo.Piesele supuse nitrurării sînt în prealabil călite de la 850°C şi revenite înalt (550-600°C) cu structura sorbitică dispersă.

Nitrurarea fontelor constă în încălzirea lor într-un mediu de amoniac la temperatura de 500-520°C timp îndelungat de 5o-9o ore în funcţie de adîncimea stratului nitrurat (o,3-o,4 mm).

Se supun nitrurării,piese solicitate puternic la uzare din fontă cu grafit fin acicular sau nodular: arbori cu came,cămăşi de

cilindri, arbori cotiţi, etc.

6.2.2. Cromizarea fontelor

Prin saturarea cu Cr a straturilor superficiale ale pieselor din fontă se obţin durităţi, rezistenţă la uzare şi rezistenţă la coroziune mari. Duritatea creşte pînă la 1100-1200 HV şi este cauzată de prezenţa în strat a unui amestec de ferită saturată cu crom şi carburi de tipul $(CrFe)_7C_3$ şi $(CrFe)_4C$.

Cromizarea fontelor se realizează prin încălzirea acestora în amestecuri formate din pulbere de ferocrom şi caolin în prezenţa HCl sau NH_4Cl (clorură de amoniu) la temperaturi de 1000-1100°C. Intr-un timp de 20-25 ore se obţine o adîncime de o,15-o,2 mm. Fontele cromizate au o rezistenţă mare la uzare şi o rezistenţă bună la coroziune în acizi.

6.2.3. Silicizarea fontelor

Constă în saturarea straturilor superficiale ale pieselor din fontă cenuşie, cu Si, în scopul creşterii rezistenţei la oxidare, prin încălzirea lor în medii capabile să disocieze în siliciu, la temperaturi de 1000-1100°C un timp de 20-25 ore. Adîncimea la silicizare este în funcţie de calitatea fontei. Astfel, la fontele maleabile cu miezul negru adîncimea obţinută este de o,5-o,8 mm, iar la fontele cu grafitul lamelar, adîncimea obţinută este doar de o,1 mm.

Stratul silicizat are o fragilitate accentuată.

6.2.4. Aluminizarea fontelor

Se aplică în scopul măririi refractarităţii şi eliminării fenomenului de creştere a pieselor din fonte cenuşii maleabile şi cu grafitul nodular.

Constă în încălzirea pieselor într-un amestec format din pulbere de feroaluminiu, Al_2O_3 şi o,5-1% NH_4Cl, la 950-1000°C, un timp

de 5 - 8 ore.

Creşterea aderenţei stratului aluminizat la miez şi îmbunătăţirea proprietăţilor stratului superficial,se realizează prin aplicarea unei recoaceri de difuzie la 900-950°C,timp de 2-3 ore,cînd adîncimea de difuzie creşte,iar concentraţia aluminiului în strat scade.

Stratul aluminizat nu posedă rezistenţă la uzare şi este fragil.Se supun aluminizării,piesele din fontă ce trebuie să reziste la temperaturi înalte,fără să prezinte fenomenul de creştere a volumului cum sînt: oale de turnare,cochilii,grătare,focare,cutii de cementare,etc.

Fontele se supun cu rezultate bune şi altor tratamente termochimice cum sînt: sulfizarea,difuzia simultană a cromului şi siliciului,difuzia molibdenului etc.

Cap.VII. TRATAMENTELE TERMICE ALE ALIAJELOR NEFEROASE

In afară de aliajele Fe-C, în tehnică se folosesc pe o scară tot mai largă metale şi mai ales aliaje neferoase.

Industriile de vîrf: electrotehnică, electronică, chimică, aerospaţială şi nucleară reclamă o gamă tot mai largă de materiale neferoase cu caracteristici chimice, fizico-mecanice şi tehnologice superioare, caracteristici care de cele mai multe ori se obţin prin tratamente termice.

Materialele neferoase posedă un complex de proprietăţi ce nu le au aliajele Fe-C cum sînt: greutate specifică mică sau foarte mare, refractaritate mare, rezistenţă la coroziune, rezistenţă la fluaj, rezistenţă la substanţe radioactive etc.

Tratamentele termice aplicate aliajelor neferoase, urmăresc îmbunătăţirea proprietăţilor şi sînt în funcţie de natura, structura iniţială şi compoziţia chimică a acestora.

Tratamentele termice aplicate aliajelor neferoase sînt, în general, aceleaşi ca şi cele aplicate aliajelor Fe-C. Ele pot fi primare sau intermediare cînd urmăresc îmbunătăţirea prelucrabilităţii pe cale mecanică (deformare plastică şi aşchiere) sau chimică şi finale cînd au drept scop creşterea proprietăţilor de exloatare. Aplicarea tratamentelor termice aliajelor neferoase, presupune cunoaşterea diagramei de echilibru a aliajelor respective.

Aliajele neferoase se supun frecvent tratamentelor termice de recoacere, călire de punere în soluţie sau de tip martensitic, îmbătrînire şi revenire.

7.1. Recoacerea aliajelor neferoase

Reprezintă un tratament termic primar, intermediar sau final care urmăreşte omogenizarea compoziţiei chimice după turnare, recristalizarea structurii după deformare plastică la rece sau de-

tensionarea pieselor obţinute prin diverse tehnologii (turnare,deformare plastică la rece,aşchiere,etc.).

7.1.1. Recoacerea de omogenizare a aliajelor neferoase

Se aplică pieselor turnate în vederea eliminării segregaţiei dendritice, structurilor grosolane de solidificare şi a stărilor în afară de echilibru obţinute din transformări primare (solidificare).

Abaterile de la compoziţia chimică (segregaţii) şi de la structură (structuri grosolane şi structuri în afară de echilibru obţinute din solidificare) sînt cauzele plasticităţii reduse,a rezistenţei mici la coroziune,instabilităţii structurii,apariţia de microfisuri şi crăpături,a deformabilităţii reduse şi a unor proprietăţi mecanice scăzute şi neuniforme.

Segregaţiile dendritice apar la solidificarea aliajelor monofazice răcite cu viteză mare sau care au un interval mare de solidificare,fig.217. Structurile în afară de echilibru se obţin în aliajele cu solubilitate limitată,fig.218.

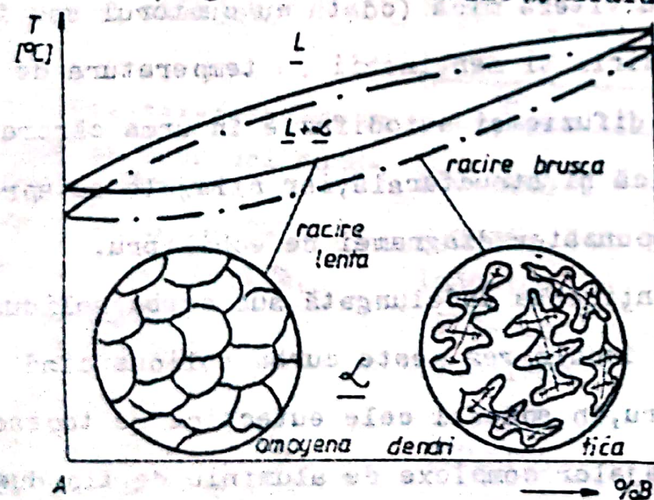


Fig.217.Solidificarea aliajelor soluţii solide la echilibru şi înafară de echilibru.

Aceste defecte de solidificare apar frecvent în alame,bronzuri,aliaje de aluminiu binare şi polinare,aliaje ale nichelului,aliaje ale magneziului,aliajele zincului şi în aliajele titanului.

In unele din aceste aliaje,cum sînt cele monofazice pe bază de cupru,nichel,zinc şi titan, neomogenităţile chimice şi structurale se elimină uşor prin încălzi-

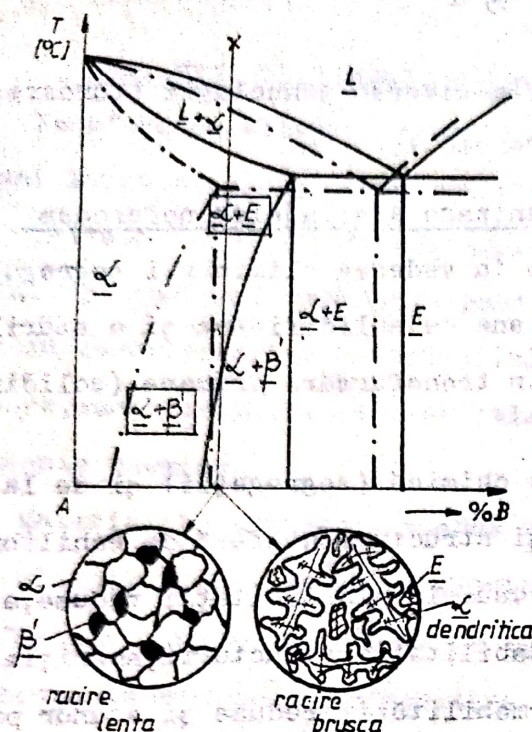


Fig.218.Solidificarea aliajelor cu solubilitate limitată înafară de echilibru.

ri la temperaturi coborîte efectuate în vederea deformării plastice la cald.Pentru aceste aliaje recoacerea de omogenizare nu este eficientă.

In aliajele neferoase bifazice pe bază de cupru,aluminiu,nichel şi magneziu,neomogenităţile chimice şi structurale nu pot fi eliminate decît prin aplicarea unei recoaceri de omogenizare.

Recoacerea de omogenizare constă din încălzirea pieselor sau lingourilor la temperaturi apropiate de curba solidus (o,8-o,9 T_{topire}),menţineri îndelungate,urmate de răciri cu viteză mică (odată cu cuptorul sau în aer),fig.219.In timpul încălzirii şi menţinerii la temperatura de recoacere au loc fenomene de difuzie şi autodifuzie în urma cărora se produce omogenizarea chimică şi structurală,iar aliajele se apropie de echilibru stabil,corespunzător diagramei de echilibru.

Uneori,încălzirea şi menţinerea îndelungată sub curba solidus nu dă rezultate,se recurge la încălzirea peste curba solidus cînd unele faze în afară de echilibru,în special cele eutectice se topesc parţial.Astfel,este cazul aliajelor complexe de aluminiu de tip dur-aluminiu care încălzite 3o-4o ore la 500°C nu se omogenizează complet fiind necesară creşterea temperaturii la 520°C.

Parametrii tehnologici ai recoacerii de omogenizare sînt în funcţie de natura aliajelor.

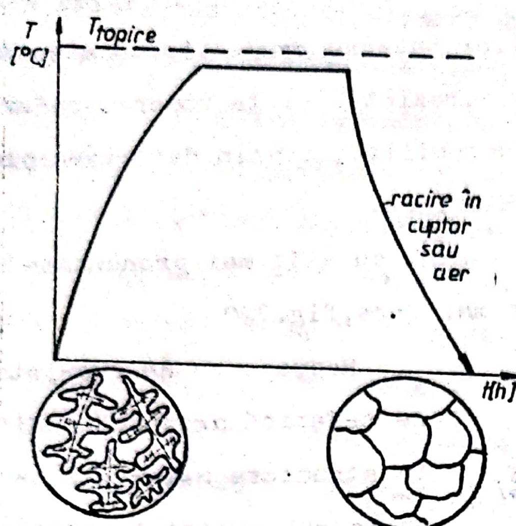


Fig.219.Graficul recoacerii de omogenizare a aliajelor neferoase.

In tabelul 7.1. se dau regimurile recoacerii de omogenizare pentru cîteva aliaje neferoase.

In urma recoacerii de omogenizare structura dendritică specifică aliajelor neferoase turnate dispare şi este înlocuită cu o structură globulară omogenă uneori,cu macle de recoacere.

7.1.2.Recoacerea de recristalizare nefazică a aliajelor neferoase

Se aplică aliajelor neferoase deformate plastic la rece ecruisate,în scopul eliminării acestei stări.

Tabelul 7.1.

Tipul aliajului	Temperatura de început de topire	Parametrii recoacerii de omogenizare		
		T	t	medii de răcire
	°C	°C	h	
Alame şi bronzuri monofazice	800-1000	600-800	2-4	aer
Bronz cu Sn 8-12%	840-860	700-750	1-2	aer
Bronz cu Al lo-12%	1030-1040	850-950	1-2	aer
Duraluminiu	510-520	490-500	8-26	aer
Aliaje Cu-Ni	1100-1200	800-950	1-2	aer
Aliaje Cu-Ni-Zn	850-950	750-800	1/2-1	aer
Aliaje Al-Zn-Mg-Cu	475-485	440-470	12-24	aer
Aliaje Al-Mg-Si-Cu	-	450-500	12-36	aer
Aliaje Al-Mn	654	600-640	8	aer
Aliaje de magneziu	-	370-400	18-24	aer

Prin deformare plastică la rece,majoritatea aliajelor neferoase se ecruizează,cînd grăunţii devin alungiţi,reţeaua cristalină se dis-

torsionează şi valoarea tensiunilor interne creşte.Toate aceste fenomene determină creşterea durităţii,rezistenţei la rupere,scăderea plasticităţii şi micşorarea prelucrabilităţii prin deformare plastică la rece şi uneori chiar prin aşchiere.

Aceste efecte ale ecruisării sînt cu atît mai pronunţate cu cît gradul de deformare plastică este mai mare,fig.220.

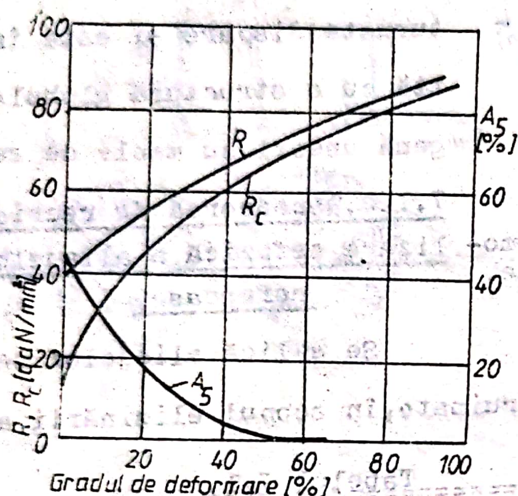


Fig.220.Variaţia proprietăţilor mecanice ale Ni cu gradul de deformare.

Recoacerea de recristalizare nefazică provoacă modificări în structura materialelor ecruisate sub aspectul modificării formei şi dimensiunilor grăunţilor şi al eliminării tensiunilor interne neantrenînd modificări de faze.

Deasemeni,recoacerea de recristalizare aplicată după ecruisare,este una a posibilitate de modificare a proprietăţilor mecanice a aliajelor neferoase care nu prezintă transformări structurale în stare solidă,cum sînt aliajele monofazice în domeniul solid.In acest caz recoacerea de recristalizare este un tratament termic final.

Cînd prin recoacerea de recristalizare se urmăreşte restabilirea plasticităţii aliajelor neferoase ecruisate atunci este un tratament termic primar sau intermediar.Recoacerea de recristalizare se aplică şi după deformarea plastică la cald cînd aceasta se termină la temperaturi coborîte şi piesele rămîn cu urme de ecruisare.

Pe măsura creşterii temperaturii de încălzire în aliajele neferoase deformate se produc următoarele fenomene: restaurarea reţe-

lei cristaline cînd se elimină distorsiunile acesteia,poligonizarea cînd dislocaţiile formează pereţi de dislocaţii respectiv structură de blocuri în mozaic,germinarea cînd la limita dintre grăunţii deformaţi se formează germenii noilor grăunţi şi coalescenţa cînd grăunţii mari delimitaţi de suprafeţe concave sau plane se dezvoltă înglobînd grăunţii mici.Temperatura la care începe fenomenul de germinare se numeşte prag de recristalizare şi are valoarea T_{recr} = $= (0,2-0,6)T_{topire}$ măsurată în [K].

Recoacerea de recristalizare constă în încălzirea pieselor sau semifabricatelor din aliaje neferoase ecruisate la temperaturi sub sau peste pragul de recristalizare,în funcţie de scopul urmărit, menţineri,urmate de răciri cu viteză mică,fig.221.

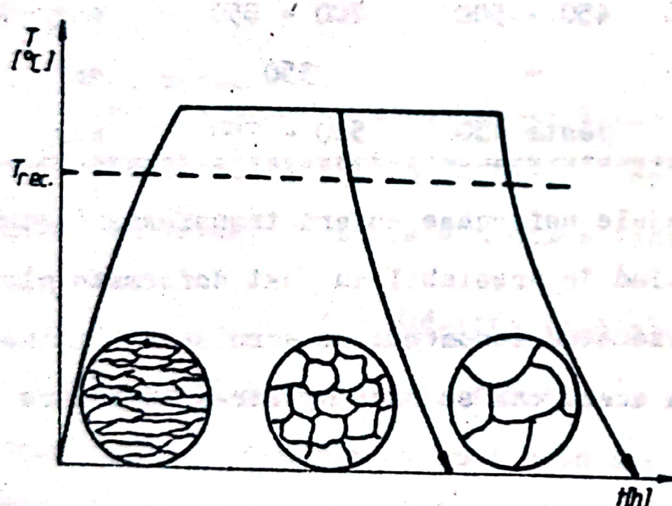


Fig.221.Graficul recoacerii de recristalizare a aliajelor neferoase.

Aliajele de aluminiu nedurificabile (Al-Mn; Al-Mg) şi durificabile (Al-Cu,duraluminiul,etc) au pragul de recristalizare cuprins între 200-300°C şi se recoc pentru recristalizare la temperaturi cuprinse între 350-400°C cu menţineri de cca o oră urmate de răciri în aer.

Alamele şi bronzurile monofazice au pragul de recristalizare cuprins între 300-400°C şi se recoc pentru recristalizare la temperaturi cuprinse între 500-700°C.

Parametrii tehnologici ai recoacerii de recristalizare a cîtorva metale şi aliaje neferoase sînt daţi în tabelul 7.2.

Tabelul 7.2.

A l i a j u l	Temperatura de recristalizare °C	Temperatura de recoacere °C	Mediu de răcire
Al şi aliajele de Al nedurificabile	200 - 300	350 - 420	aer
Al-Mn cu 1-1,5% Mn	200 - 300	500	aer
Al-Cu; Duraluminiu	200 - 300	350 - 400	cuptor
Cupru	200	500 - 700	aer
Cu-Zn şi Cu-Sn monofazice	300 - 400	500 - 700	aer
Cu-Al cu 10% Al	300 - 400	600 - 700	aer
Cu-Be cu 3% Be	300 - 400	500 - 600	aer
Cu-Cr şi Cu-Ni cu peste 10% Ni	450 - 500	700 - 850	aer
Aliaje de Mg	-	350	aer
Aliaje de Ti	peste 450	550 - 750	aer

Cînd metalele şi aliajele neferoase suferă transformări structurale în stare solidă şi cînd în prealabil au fost deformate plastic la rece sau la cald prezentînd fenomenul de ecruisare, eliminarea efectelor ecruisării în acest caz se face printr-o recoacere de recristalizare fazică.

7.1.3. Recoacerea de detensionare a aliajelor neferoase

Se aplică pieselor din aliaje neferoase obţinute prin turnare, deformare plastică, sudare, aşchiere sau tratamente termice, în scopul eliminării tensiunilor interne. Tensiunile interne de valori mari provenite din procesele tehnologice de fabricaţie duc la modificarea formei, dimensiunilor şi chiar la distrugerea pieselor în timpul prelucrării mecanice sau în timpul exploatării. La aliajele neferoase temperaturile şi duratele de menţinere la detensionare sînt mici.

tabelul 7.3.

Tabelul 7.3.

Aliajul	Temperatura °C	Durata h
Cupru tehnic	150	0,5
Alame monofazice	200 - 270	1
Alame speciale	285 - 350	1
Bronzuri cu 5-10% Sn	200	1
Aluminiu tehnic	150	0,5
Aliaje de aluminiu turnate	280 - 300	2-5
Aliaje de magneziu	200	3-5
Nichel şi Ni-Cu	300	1÷3
Titan	500	0,5-1
Aliaje de titan	550 - 600	0,5-1

Viteza de răcire la recoacerea de detensionare este redusă pentru a preveni formarea din nou a tensiunilor interne.

7.2. Călirea aliajelor neferoase

Aliajele neferoase, în funcţie de natura lor şi de tipul transformărilor structurale ce au loc în stare solidă se pot trata termic prin călire de tip martensitic şi prin călire de punere în soluţie.

7.2.1. Călirea de tip martensitic a aliajelor neferoase

Se aplică aliajelor neferoase care prezintă transformări eutectoide cum sînt: bronzuri de aluminiu, aliaje de titan, etc. Călirea de tip martensitic, se aplică aliajelor neferoase în acelaşi scop ca şi aliajelor Fe-C, adică de creştere a durităţii şi modificarea caracteristicilor fizico-mecanice prin obţinerea unei soluţii solide suprasaturate în element dizolvat, în afară deechilibru asemănătoare

martensitei din oţeluri şi fonte.

Călirea martensitică a aliajelor neferoase este tipică bronzurilor de aluminiu cu 1o-14% Al,care prezintă o transformare eutectoidă la temperatura de 565°C ($\beta \rightleftharpoons \alpha+\gamma''$),fig.222.Eutectoidul ($\alpha+\gamma$) se obţine la concentraţia de 11,8% Al şi are o structură la echilibru asemănătoare perlitei din oţeluri.Călirea martensitică a aliajelor Cu-Al constă din încălzirea lor la temperaturi 650-700°C,menţinere de 1-2 ore pentru omogenizarea fazei β ($AlCu_3$) şi răcirea cu viteză mai mare de 1°C pe minut.In urma călirii,în aceste aliaje se obţine o structură aciculară formată din faza β suprasaturată în Al,metastabilă,dură ce are reţea hexagonală,prezintă un volum specific mare şi tensionează puternic reţeaua.

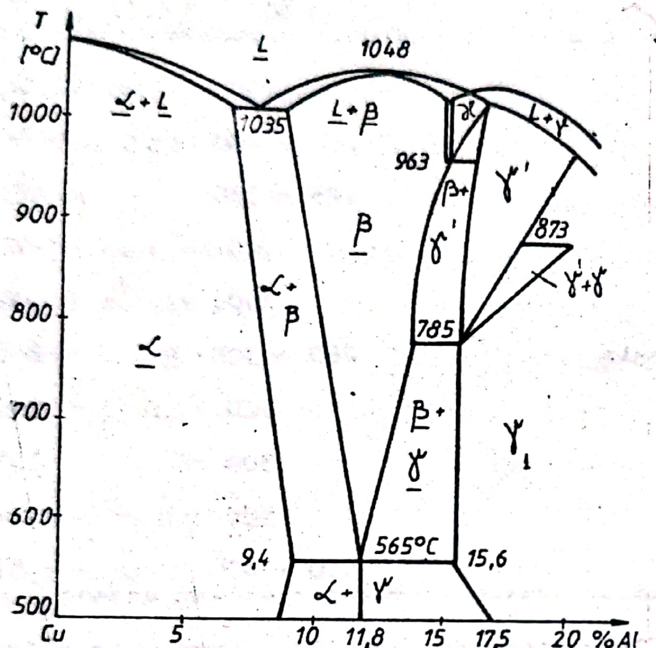


Fig.222.Diagrama de echilibru a bronzurilor de aluminiu.

Diagrama TTT şi graficul de călire martensitică a aliajelor Cu-Al eutectoide (11,8% Al) este dat în fig.223.

In urma călirii,aceste aliaje sînt foarte fragile,datorită prezenţei în structură a fazei $AlCu_3$ pe lîngă soluţia solidă α (aliaje hipoeutectoide) sau compusul γ''(aliaje hipereutectoide). Din acest motiv aliajele neferoase în stare călită martensitic nu se utilizează,ele se supun operaţiei de revenire ca şi aliajele Fe-C.

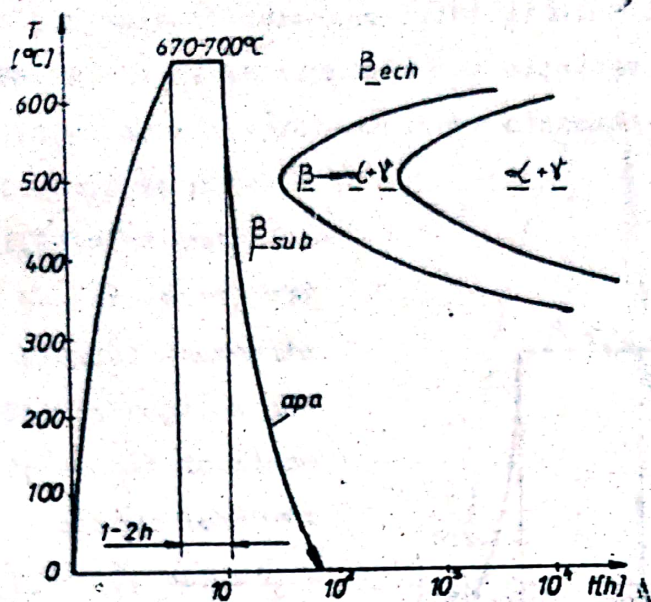


Fig.223.Graficul de călire şi diagrama TTT a aliajului eutectoid Cu-Al cu 11,8% Cu.

De observat că operaţia de călire martensitică la aliajele neferoase nu este la fel de răspîndită ca la aliajele Fe-C deoarece modificarea proprietăţilor mecanice nu este la fel de spectaculoasă.

7.2.2. Călirea de punere în soluţie a aliajelor neferoase.

Reprezintă cea mai răspîndită operaţie de tratament termic aplicată aliajelor neferoase care prezintă în stare solidă transformări secundare bazate pe variaţia solubilităţii cu temperatura: Al-Cu, Al-Mg, Al-Zn, Al-Cu-Mg, Al-Mg-Si; Mg-Al; Mg-Zn; Mg-Al-Zn; Ni-Cr; Cu-Be; Cu-Si; Cu-Ni-Al; Ti-Al;Ti-Cr ; Ti-V şi altele.

Constă din încălzirea şi menţinerea aliajului bifazic sau polifazic la temperaturi situate deasupra liniei de variaţie a solubilităţii,cînd compuşii intermetalici se dizolvă în soluţia solidă de bază,realizînd omogenizarea acesteia,urmate de răcire cu viteză mare,cînd se obţine o soluţie solidă subrăcită şi suprasaturată în element dizolvat,în stare metastabilă.

Caracteristic acestui tratament termic este călirea de punere în soluţie a aliajelor de Al-Cu, Cu-Be şi Cu-Cr,aliaje la care se obţin cele mai spectaculoase modificări de proprietăţi.

Aliajele de Al-Cu au o diagramă de echilibru cu transformări

secundare datorate variaţiei solubilităţii cuprului în aluminiu de la o,5 la 5,65% Cu odată cu variaţia temperaturii de la 20 la 548°C, fig.224 a. Aliajele cuprinse între concentraţiile o,5% Cu şi 5,65% Cu în stare de echilibru (recoapte) au structura formată din soluţia solidă moale şi tenace şi compusul chimic Al_2Cu dur şi fragil. In această stare, aliajele respective sînt dure, fragile şi nu se pot prelucra prin deformare plastică. Prin călirea de punere în soluţie care constă în încălzire în domeniul soluţiei solide omogene (haşurat), menţinere şi răcire bruscă, fig.224 b aceste aliaje se înmoaie, deoarece se obţine o structură omogenă formată din soluţie solidă moale şi tenace. Temperatura de încălzire trebuie riguros respectată pentru a nu atinge curba solidus, ea este de 510 ± 5°C.

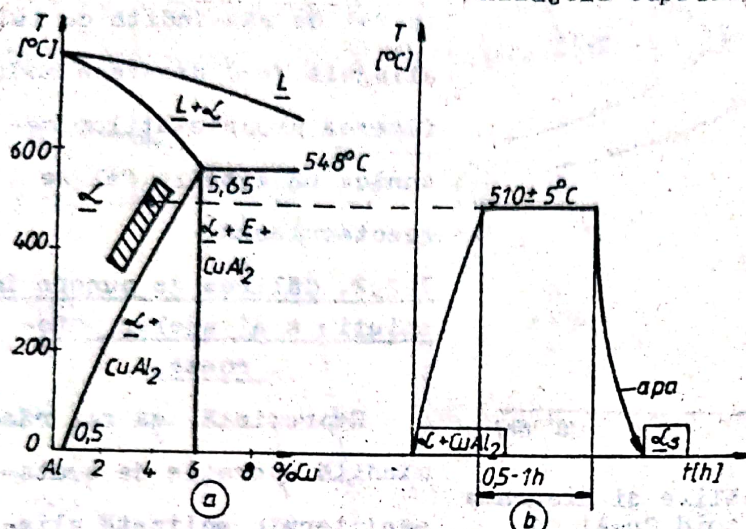


Fig.224. Diagrama de echilibru a aliajelor Al-Cu (a) şi graficul călirii de punere în soluţie (b)

Menţinerea la temperatură este de cca o,5-1 oră, iar răcirea se face în apă sau în apă caldă pentru piese cu complexitate mare a formei. Efectul călirii de punere în soluţie este cu atît mai intens cu cît aliajul are o concentraţie mai apropiată de limita maximă de solubilitate - 5,65% Cu.

Bronzurile cu beriliu (Cu-Be), au o variaţie a solubilităţii de la o,2% Be la 20°C pînă la 2,7% Be la 866°C, fig.225 a. In stare de echilibru (recoaptă) aceste aliaje sînt foarte dure datorită

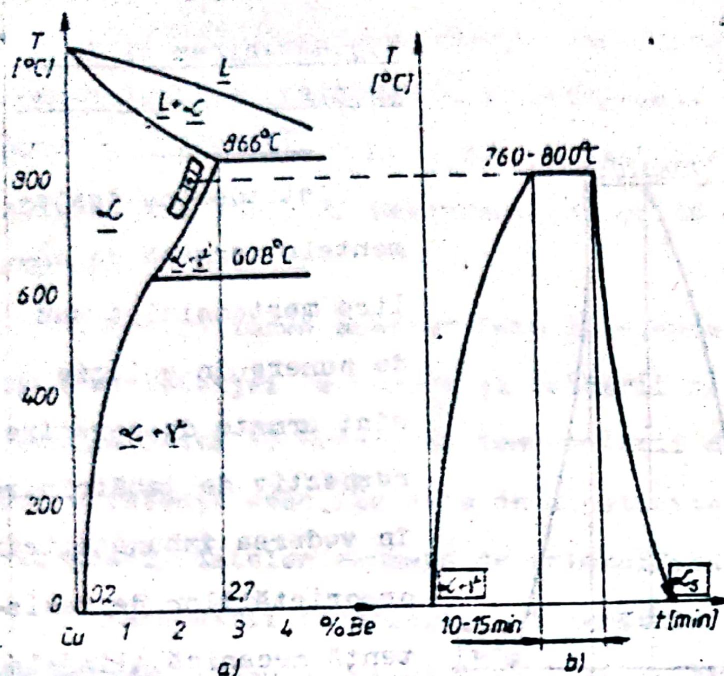


Fig.225.Diagrama de echilibru a aliajelor Cu-Be şi graficul de călire de punere în soluţie a aliajului cu 2,5% Be.

prezenţei fazei secundare γ (CuBe) dură şi fragilă.

Călirea de punere în soluţie constă în încălzirea aliajelor cu utilitate practică (2-2,5% Be), în domeniul de temperaturi 760-800°C, menţineri scurte 10-15 minute urmate de răcire în apă, fig.225 b. Se recomandă încălzirea în atmosfere protectoare pentru a evita oxidarea aliajului. In urma călirii de punere în soluţie se obţine în aceste bronzuri o soluţie solidă suprasaturată în Be moale şi tenace, care se deformează plastic cu uşurinţă.

Bronzurile cu crom (Cu-Cr) prezintă o variaţie a solubilităţii în stare solidă de la 0,01% Cr la 20°C pînă la 0,65% Cr la 1070°C, fig.226 a. Bronzurile cu crom utilizate în practică (peste 0,4% Cr) se încălzesc pentru călire de punere în soluţie la 1000 ± 20°C, se menţin un timp de 1,5-2 ore apoi se răcesc în apă, fig.226 b, cînd se obţine o soluţie solidă omogenă şi suprasaturată înafară de echilibru moale şi tenace.

Călirea de punere în soluţie se aplică aliajelor neferoase în două scopuri: micşorării durităţii în vederea deformării plastice la rece sau în vederea aplicării ulterioare a unui tratament termic de îmbătrînire prin care duritatea, rezistenţa la rupere şi rezistenţa la uzare cresc foarte mult.

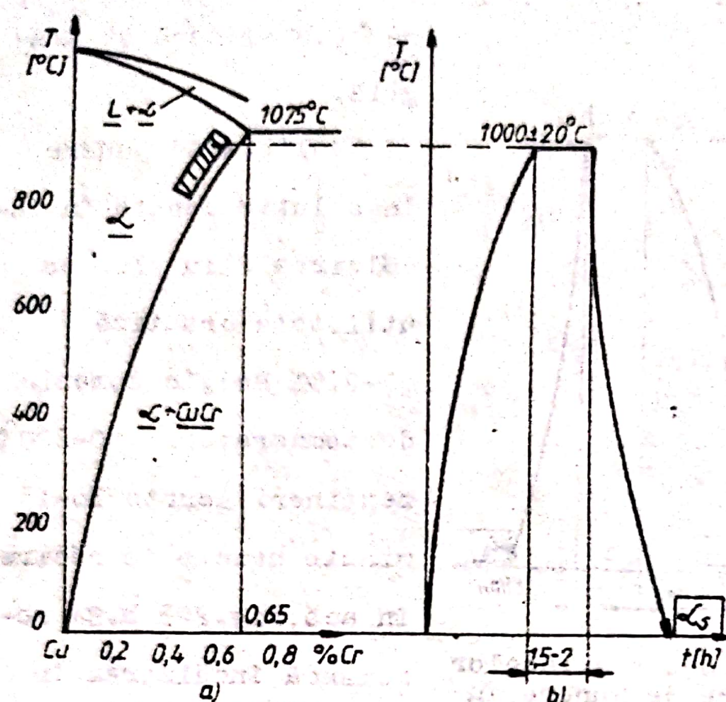


Fig.226.Diagrama de echilibru a aliajelor Cu-Cr şi graficul de călire de punere în soluţie a aliajului cu o,5% Cr.

7.3.Revenirea şi îmbătrînirea aliajelor neferoase

Intotdeauna tratamentele termice de călire martensitică sau de punere în soluţie sînt urmate de revenire respectiv de îmbătrînire în vederea îmbunătăţirii proprietăţilor de rezistenţă mecanică.Aliajele neferoase care prezintă transformări eutectoide, după călirea martensitică se revin la temperaturi situate sub temperatura transformării eutectoide,cînd duritatea scade şi fragilitatea se micşorează.Astfel,bronzurile de aluminiu cu lo-14% Al se revin la temperaturi imediat sub 565°C cînd se obţin valori ridicate ale rezistenţei la rupere şi rezilienţei.

Aliajele neferoase care prezintă variaţii ale solubilităţii în stare solidă,după călirea de punere în soluţie se supun tratamentului termic de îmbătrînire,în urma căruia aliajele se durifică prin precipitarea din soluţia solidă suprasaturată a fazelor secundare intermetalice foarte dure.

Imbătrînirea poate avea loc la temperatura ambiantă într-un timp lung (zile-luni) cînd se numeşte îmbătrînire naturală sau prin încălziri la temperaturi situate sub linia de variaţie a solubilităţii,într-un timp scurt,cînd se numeşte îmbătrînire artificială.

Imbătrînirea fără energie de activare (naturală) sau cu energie de activare (artificială),realizează precipitarea fazelor secundare (Al_2Cu, CuBe, CuCr etc.),inițial coerente la matrice (soluția solidă) iar în final necoerente,datorită creșterii dimensiunilor acestora.

Precipitarea acestor faze dure,este cauza creșterii durității și a rezistenței la rupere și scăderii plasticității aliajelor neferoase.Odată cu creșterea temperaturii de încălzire proprietățile de rezistență scad,iar cele de plasticitate cresc datorită coagulării precipitatelor cauzată de intensificarea fenomenelor de difuzie.

Parametrii tehnologici ai îmbătrînirii se determină în funcție de natura aliajului și de caracteristicile mecanice dorite.

Imbătrînirea aliajelor de aluminiu durificabile prin precipitare se realizează prin încălziri sub 190°C în băi de ulei,mențineri de 4-10 ore și răcire în apă.Durata între călirea de punere în soluție și îmbătrînire trebuie să fie cît mai scurtă.

Rezistența la rupere a aliajelor de Al-Cu este funcție de temperatura și timpul de menținere la îmbătrînire,fig.227.

In fig.228 este dat ciclul complet de tratament termic de durificare a aliajului AlMgSiCu .

Duraluminiul AlCu4SiMg se durifică astfel: se încălzește la 500-510 ± 5°C unde se menține 1-1,5 ore,apoi se răcește în apă,cînd se obține o soluție solidă moale și tenace după care se încălzește la 165°C un timp de 6-8 ore,iar în final se răcește în apă.După un astfel de tratament termic complex duraluminiul va avea proprietățile: $R = 50$ daN/mm^2; $R_c = 42$ daN/mm^2; HB = 12o-13o.

Deformarea plastică la rece sau la cald se aplică întotdeauna între călirea de punere în soluție și îmbătrînire.Acest lucru asigură caracteristici mecanice finale superioare.

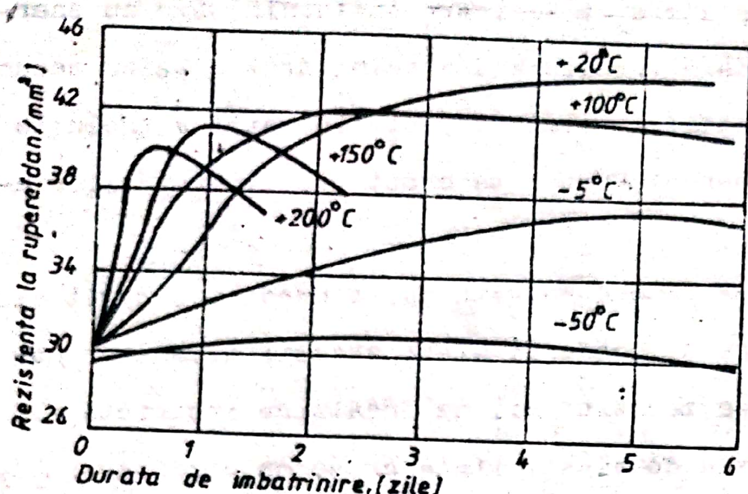


Fig.227.Dependenţa rezistenţei la rupere funcţie de temperatura şi durata de îmbătrînire a duraluminiului Al-Cu-Mg.

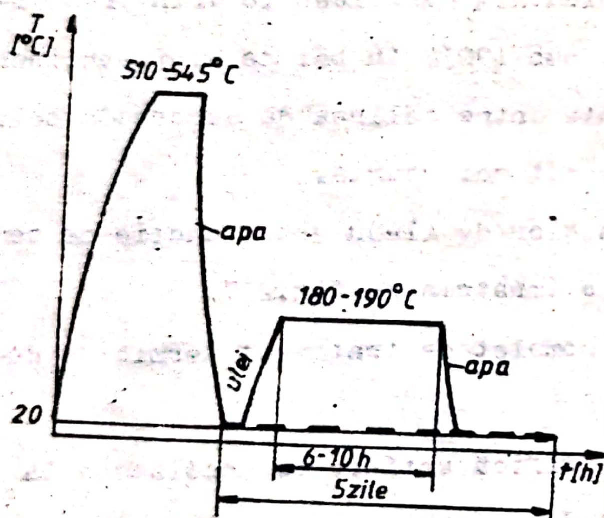


Fig.228.Tratamentul termic de durificare a duraluminiului AlMg1SiCu

Cînd operaţia de îmbătrînire nu reuşeşte,aliajele se supun din nou călirii de punere în soluţie şi efectuării îmbătrînirii.Fenomenul de întoarcere a unui aliaj îmbătrînit la starea de după călire se numeşte reversiune.

Imbătrînirea bronzurilor cu Be se realizează prin încălzire la 320°C un timp de 2 ore şi răcire în aer cînd se obţin proprietăţi de rezistenţă şi durităţi maxime. Pentru aliajul Cu-Be cu 2% Be astfel tratat termic se obţin:

R = 13o-14o daN/mm^2;

R_c= 128 daN/mm^2; A_5= 1-2% şi

HB = 35o-37o.

Bronzurile cu crom se îmbătrînesc la temperaturi de 45o-5oo°C cu menţinere de 4-5 ore urmate de răcire în aer,cînd se obţin durităţi de pînă la 15o HB.

Călirea de punere în soluţie urmată de îmbătrînire constituie singura cale de modificare spectaculoasă de proprietăţilor mecanice a unui număr mare de aliaje neferoase.

Cap.VIII.TEHNOLOGII SPECIFICE DE TRATAMENT TERMIC SI TERMOCHIMIC APLICATE SCULELOR SI PIESELOR IN CONSTRUCTIA DE MASINI

8.1 Tratamente termice şi termochimice aplicate sculelor

Diversitatea mare de materiale metalice supuse prelucrărilor mecanice prin aşchiere sau deformare plastică,impun utilizarea unei game largi de scule care trebuie să posede complexe proprietăţi fizice,mecanice şi tehnologice.Astfel,sculele trebuie să posede o duritate superioară materialelor de prelucrat pentru a asigura o rezistenţă a sculei la tensiunile de contact ce apar pe partea de lucru şi o rezistenţă mare la uzare prin frecare.

Oţelurile de scule trebuie să aibă o rezistenţă ridicată la deformări plastice mici,trebuie să aibă tenacitate ridicată,stabilitate la cald,rezistenţă la şoc termic,conductibilitate termică bună,călibilitate mare,capacitate bună de şlefuire,stabilitate faţă de supraîncălzire,stabilitate faţă de decarburare şi oxidare superficială,susceptibilitate redusă la deformare şi la apariţia fisurilor. Aceste caracteristici ale oţelurilor de scule,au valori mai mari sau mai mici în funcţie de destinaţia sculelor şi de calitatea oţelurilor.Caracteristicile fizico-mecanice şi tehnologice ridicate ale oţelurilor de scule sînt obţinute prin aplicarea de tratamente termice şi termochimice.

Sculele au rolul principal de a prelucra materialele metalice şi nemetalice la rece sau la cald.

In funcţie de natura prelucrărilor mecanice sculele pot fi: scule aşchietoare,pentru deformare plastică la rece,pentru deformare plastică la cald,pentru măsurat şi verificat.

Oţelurile destinate sculelor pot fi: oţeluri carbon,oţeluri aliate pentru scule şi oţeluri bogat aliate de scule (rapide).

8.1.1. Tratamente termice aplicate oţelurilor pentru scule aşchietoare

Sculele aşchietoare constituie o grupă de scule destinate să prelucreze materialele metalice şi nemetalice prin eliminare de aşchii, în condiţii deosebit de grele, fapt ce impune folosirea unor materiale cu caracteristici mecanice superioare. Sculele aşchietoare se caracterizează prin forme complexe, cu treceri bruşte de la o secţiune la alta şi prin dimensiuni foarte variate.

Caracteristica principală a oţelurilor de scule pentru aşchiere este duritatea ridicată care asigură o durabilitate mare.

Duritatea şi rezistenţa mare la uzare a oţelurilor de scule sînt realizate prin conţinutul ridicat în carbon al oţelurilor de scule, prin alierea oţelurilor cu elemente durificatoare şi prin aplicarea corectă a unei game variate de tratamente termice. Sculelor aşchietoare li se aplică atît tratamente termice primare (cînd sînt sub formă de semifabricate) cît şi tratamente termice finale.

Tratamentul termic final al sculelor aşchietoare constă din călire şi revenire. Parametrii tehnologici ai tratamentului termic se aleg în funcţie de natura oţelului, de forma, dimensiunile şi destinaţia sculelor precum şi tipul producţiei de scule.

8.1.1.1. Tratamentele termice aplicate oţelurilor carbon de scule

Oţelurile carbon de scule au un conţinut de carbon cuprins între o,65 - 1,45%C, conţin deasemeni între o,15-o,35% Mn şi Si. Duritatea ridicată (62-66 HRC) obţinută prin tratament termic, conferă acestor oţeluri o rezistenţă bună la uzare şi o durabilitate bună.

Structura oţelurilor carbon de scule după tratamentul termic final este formată din martensită de revenire în care se află particole fine sau o reţea fină de cementită.

Din oţelurile carbon de scule pentru aşchiere (OSC 8;OSC8M; OSC1o; OSC11; OSC13) se execută scule de tîmplărie,burghie,filiere, tarozi,pînze de fierăstrău,cuţite de strung,freze,alezoare,pile,etc.

Oţelurile carbon de scule pe lîngă avantajele că sînt ieftine,se prelucrează mecanic şi termic cu uşurinţă,prezintă şi unele dezavantaje: au călibilitate mică (2-12 mm), sînt sensibile la supraîncălzire şi la deformare şi au o stabilitate termică redusă (2oo-3oo°C).
Oţelurile carbon de scule se supun la două tipuri de tratamente termice:finale şi preliminare.Tratamentele termice preliminare au drept scop obţinerea de perlită globulară care asigură o prelucrabilitate uşoară prin aşchiere şi o austenitizare omogenă la tratamentul termic final.

Tratamentul termic preliminar constă în general dintr-o recoacere de globulizare a structurii (înmuiere) care se face prin încălzire la 740-780°C,menţinere urmată de răcire lentă (30°C/h) pînă la 560°C apoi în aer.Duritatea obţinută în urma acestui tratament termic preliminar este de 17o-220 HB.Uneori între deformarea plastică la cald (forjare,matriţare) şi recoacerea de înmuiere, oţelurile carbon de scule se supun unei recoaceri de normalizare, care constă în încălzirea oţelurilor la 860-900°C,menţinere urmată de răcire în aer.Acest tratament asigură,ulterior,o globulizare perfectă a structurii.

Tratamentul termic final se aplică sculelor prelucrate,înainte de a fi ascuţite,avînd drept scop obţinerea unei structuri martensitice cu cementită,care conferă oţelurilor duritate şi rezistenţă la uzare mari.Tratamentul termic final la sculele aşchietoare din OSC constă din călire în apă (OSC 7; OSC8; OSC8M; OSC1o), apă sau ulei (OSC11; OSC13) de la 760-820°C urmată de o revenire

joasă la 150-300°C cu o menţinere de 1/3-4 ore în funcţie de duritatea şi tenacitatea impuse sculelor.

După călire se obţine o duritate de 60-66 HRC,iar după revenirea joasă duritatea scade la 58-64 HRC,fig.229.După revenire sculele sînt parţial detensionate.

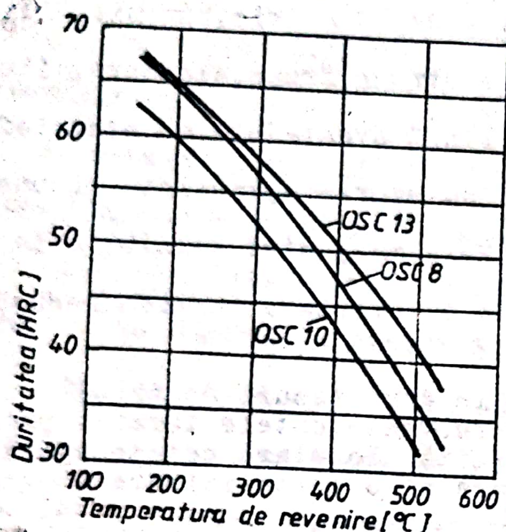


Fig.229.Variaţia durităţii oţelurilor carbon de scule cu temperatura de revenire.

Oţelurile carbon de scule,avînd mult carbon,sînt foarte sensibile la fisurare în timpul călirii,de aceea sculele cu formă complexă se călesc în două medii (apă şi ulei) sau în trepte,cînd se menţin deasupra lui M_S un timp pentru egalizarea temperaturii în toată masa şi apoi se răcesc cu orice viteză.

Oţelurile carbon de scule destinate confecţionării pilelor (OLC60-STAS 888-80; OSC13-STAS 1700-80; 15 Cr08-STAS 791-80) se călesc în apă de la 750-820°C,fără a se reveni.Pilele sînt scule cu formă simplă care nu sînt solicitate mecanic,ele trebuind să posede duritate maximă,motiv pentru care acestea nu se supun revenirii.

Oţelurile carbon de scule destinate prelucrării materialelor nemetalice (OSL4; OSL8; OSL1o; OSL4Cr; OSL5Cr; OSL6Cr-STAS 1699-76) se călesc în apă de la 760-1020°C,apoi se supun unei reveniri joase sau medii la 100-420°C cu răcire în aer.

Pentru a se evita deformările ce apar în timpul încălzirii sau răcirii,sculele subţiri (burghie lungi,freze disc cu diametru mare,pînze de fierăstrău alternativ sau circular etc.) se călesc în dispozitive speciale.

Intrucît sculele aşchietoare trebuie să aibă o duritate mare la partea activă şi o tenacitate bună pentru corp sau suport,acestea se pot trata termic selectiv: călire urmată de revenire joasă pentru partea activă şi călire urmată de revenire înaltă pentru corp sau suport.

Parametrii de tratament termic preliminar şi final ai oţelurilor carbon de scule aşchietoare sînt daţi în tabelul 8.1.

Tabelul 8.1.

Oţelul	Recoacerea de înmuiere		Normalizarea	Călire			Revenire	
	T [°C]	HB	T [°C]	T [°C]	Mediu	HRC	T [°C]	HRC
OSC 8	780	187	800-820	780-800	apă	60-65	150-300	58-62
OSC 8M	780	187	800-820	780-800	apă	61-64	150-300	58-62
OSC 10	790	197	820-840	760-780	apă	62-65	150-300	58-62
OSC 11	790	207	830-850	760-780	apă (ulei)	62-65	150-300	58-62
OSC 13	790	217	880-900	760-780	idem	62-66	150-400	58-64
OSL 4	740-800	-	-	790-820	apă	-	200-250	-
OSL 8	730-800	-	-	760-820	apă	-	220-260	-
OSL 10	710-780	-	-	760-820	apă	-	200-240	-
OSL 4Cr	750-780	-	-	980-1020	ulei	-	100-420	-
OSL 5Cr	750-780	-	-	980-1020	ulei	-	100-420	-
OSL 6Cr	770-810	-	-	980-1020	ulei	-	100-420	-

8.1.1.2. Tratamentele termice aplicate oţelurilor aliate de scule aşchietoare

Alierea oţelurilor cu Mn,Cr,Mo,V,W face ca duritatea,rezistenţa la uzare,stabilitatea termică şi călibilitatea oţelurilor să crească.Deasemeni prin aliere se micşorează tendinţa spre supraîncălzire şi tendinţa de deformare la călire.

In urma tratamentului termic final structura acestor oţeluri este formată din martensită, austenită reziduală, în care sînt distribuite cementită aliată şi carburi ale elementelor de aliere.

Aceste oţeluri aliate pentru scule de aşchiere conţin: o,75-1,65%C; o,15-19%Mn; o,15-o,35%Si; o,6-1,5%Cr; 1,2-2,2%W; o,o7-o,3% V şi maxim o,35%Ni. Din ele se execută scule ca: burghie, filiere, tarozi, alezoare, cuţite pentru finisare, broşe etc.

Tratamentul termic primar al acestor oţeluri constă dintr-o recoacere de înmuiere care se realizează prin încălziri la 700-850°C, cu răciri odată cu cuptorul, cînd se obţin durităţi de maxim 265 HB.

Cînd sculele se execută prin deformare plastică la cald, se recomandă după deformarea plastică o normalizare la 860-900°C cu răciri în aer.

Tratamentul termic final al oţelurilor aliate de scule aşchietoare este asemănător oţelurilor carbon şi constă din călire şi revenire joasă.

Incălzirea pentru austenitizare trebuie efectuată cu o viteză moderată, deoarece aceste oţeluri au o conductibilitate termică mai scăzută decît oţelurile carbon. Timpul de menţinere la temperatura de austenitizare trebuie să fie mic pentru a preîntîmpina decarburarea sculelor. In vederea încălzirii se recomandă folosirea atmosferelor protectoare sau a băilor de săruri. Călirea se face în apă sau ulei de la temperaturi 750-980°C, cînd se obţin durităţi de 58-65 HRC.

După călire se aplică o revenire joasă 100-230°C cu răciri în aer, cînd duritatea creşte la valori de 60-66 HRC.

Odată cu creşterea temperaturii de revenire a oţelului MCW14 peste 100°C duritatea scade (fig.230), iar tenacitatea creşte.

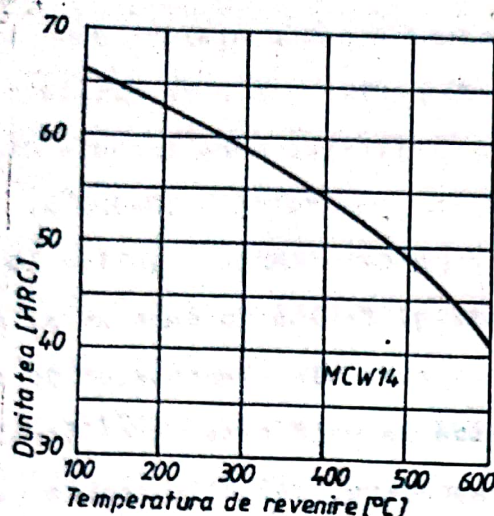


Fig.230.Variaţia durităţii oţelului aliat de scule 97MnCrW141 cu temperatura de revenire.

Parametrii tehnologici ai tratamentelor termice aplicate oţelurilor aliate de scule pentru aşchiere sînt daţi în tabelul 8.2.

8.1.1.3.Tratamentele termice ale oţelurilor bogat aliate de scule aşchietoare

Din această categorie fac parte oţelurile bogat aliate cu Cr (15oVMoCr12o)şi oţelurile rapide de scule Rp1; Rp2; Rp3; Rp5;Rp9 şi Rp1o,care se numesc astfel datorită vitezei mari cu care sculele aşchiază.

Tabelul 8.2.

Oţelul	Recoacere de înmuiere			C ă l i r e			Revenire		
	T [°C]	mediu	HB	T [°C]	mediu	HRC	T [°C]	mediu	HRC
117VCro6	71o-75o	cuptor	22o	81o-84o	ulei	58-6o	1oo-4oo	aer	64-51
1o5CrW2o	76o-79o	cuptor	228	8oo-825	ulei	61-62	15o-23o	aer	6o-63
97MnCrW14	77o-79o	cuptor	255	8oo-83o	ulei	61-62	16o-22o	aer	63-6o
9oVMn18	69o-72o	cuptor	242	75o-78o	ulei	6o-62	18o-25o	aer	63-57
1o5CrW2o	72o-75o	cuptor	23o	89o-92o	ulei	6o-62	45o-6oo	aer	63-58

Aceste oţeluri fac parte din clasa ledeburitică,conţinînd o,7-1,o3%C; o,1-4,5%Cr; o,3-9,o%Mo; 1,o-19,5%W; 1,o-2,6%V şi 0-6,o%Co.

Oţelurile bogat aliate de scule după tratamentul termic final prezintă proprietăţi mecanice superioare: duritate ridicată, rezistenţă foarte mare la uzare şi o stabilitate termică ridicată (peste 6o HRC la temperaturi de lucru de 6oo-65o°C).

Datorită conţinutului ridicat de elemente de aliere care

formează carburi (W,V,Mo,Cr),structura acestor oţeluri după turnare este constituită dintr-un cîmp de perlită în care există o reţea de carburi asemănătoare ledeburitei,reţea care trebuie distrusă prin deformare plastică la cald în intervalul 1110-900°C.

Structura oţelurilor rapide după deformarea plastică la cald este formată din perlită sau perlită şi ferită în care se află distribuite uniform sau în şiruri carburi ale elementelor de aliere.Duritatea după deformarea plastică la cald este mare(55o-65oHB).

In vederea prelucrării prin aşchiere,oţelurile rapide după deformare plastică,se supun unei recoaceri de înmuiere izotermă care constă în încălzire cu viteză redusă (20-30°C/h) pînă la 900°C,menţineri 2-4 ore,urmată de răcire la 760-800°C,menţinere la această temperatură lo-15 ore apoi răcire în aer liber.Structura rezultată în urma recoacerii de înmuiere este formată din sorbită globulară fină în care sînt repartizate uniform carburi primare şi secundare ale elementelor de aliere.Duritatea după tratamentul termic primar este de circa 25o HB.

Tratamentul termic final clasic aplicat oţelurilor rapide constă dintr-o călire urmată de un ciclu de 2-3 reveniri,fig.231.

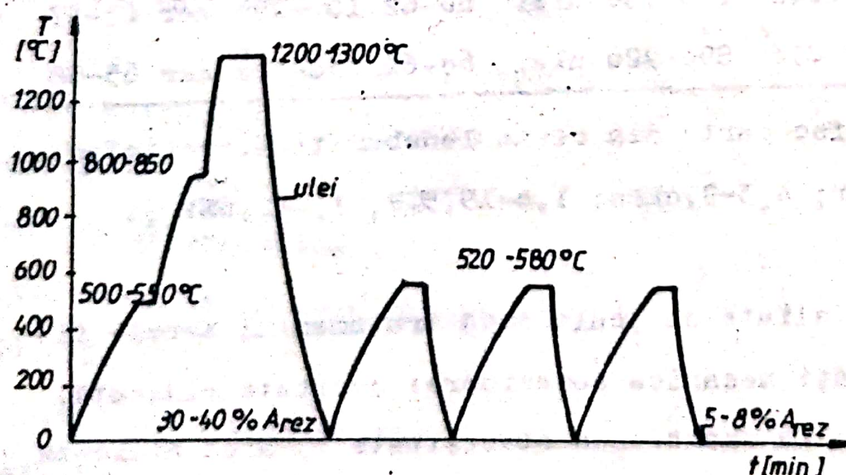


Fig.231.Diagrama de tratament termic clasic a oţelurilor rapide.

Incălzirea acestor oţeluri în vederea călirii are loc în băi de săruri în trepte,iniţial cu viteză mică şi apoi cu viteză mai mare,pînă la temperaturi

de 1200-1300°C.Treptele de încălzire au rolul de a egaliza temperatura în masa sculelor.Viteza mică de încălzire asigură eliminarea pericolului de fisurare a sculelor din aceste oţeluri care au o conductibilitate termică foarte redusă dată de prezenţa elementelor de aliere.In domeniul temperaturilor mari,viteza de încălzire poate fi ridicată,deoarece oţelul este plastic putînd prelua tensiunile interne.

Temperatura de încălzire în vederea călirii,este foarte ridicată pentru a asigura un grad de omogenizare ridicat al austenitei prin dizolvarea unei cantităţi cît mai mari de carburi (fig.232).Durata de menţinere la temperatura finală este scurtă (6-8 secunde pentru fiecare mm grosime a sculei).Acest lucru elimină pericolul decarburării suprafeţei sculelor.

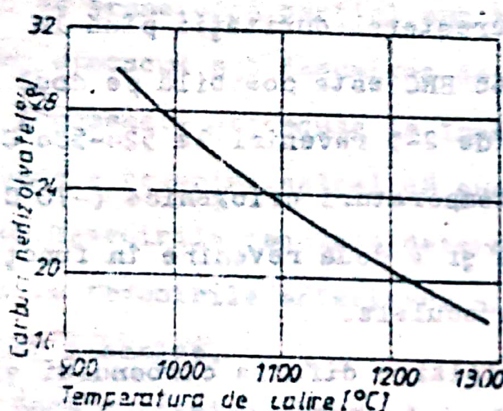


Fig.232.Influenţa temperaturii de austenitizare asupra dizolvării carburilor.

Decarburarea sculelor din oţeluri rapide Rp3 şi Rp5 încălzite timp de o oră la 1275°C respectiv la 1220°C,apreciată prin măsurarea microdurităţii este dată în fig.233

De la temperatura de austenitizare oţelurile rapide se răcesc în ulei sau aer,deoarece aceste oţeluri au viteza critică de răcire foarte redusă (sînt autocălibile).După călire structura este formată din martensită,austenită reziduală (peste 30%) şi carburi rămase nedizolvate la austenitizare.Duritatea după călire este de 60-61 HRC şi este funcţie de temperatura de încălzire (fig.234).

Eliminarea cantităţii mari de austenită reziduală,însoţită

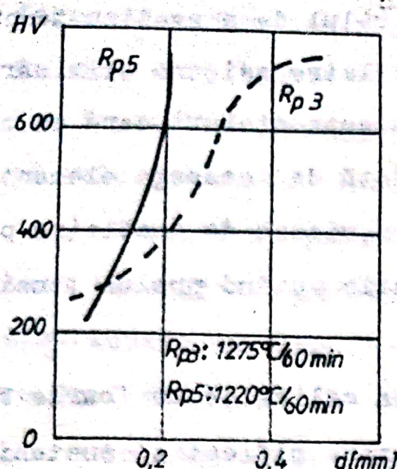


Fig.233.Evidenţierea decarburării la încălzire a oţelurilor rapide Rp3 şi Rp5

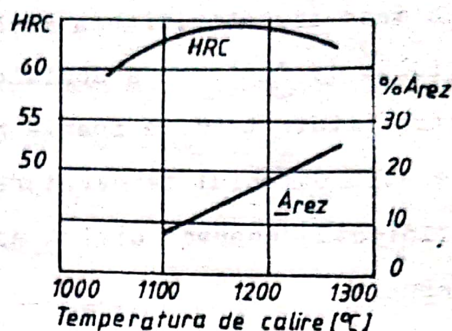


Fig.234.Influenţa temperaturii de călire asupra durităţii şi cantităţii de austenită reziduală în oţelurile rapide.

de creşterea durităţii pînă la 62-66 HRC este posibilă pe două căi: fie prin aplicarea unui ciclu de 2-3 reveniri la 52o-58o°C, fie prin aplicarea unei răciri la temperaturi criogenice (-70°C) imediat după călire sau între prima şi a doua revenire în funcţie de solicitările la care sînt supuse sculele.

In procesul revenirii prin încplzire difuzia carbonului şi a elementelor de aliere se intensifică,redistribuindu-se între cele trei faze existente (austenita,martensita şi carburi).Incălziri pînă la 400°C determină separarea carbonului şi a cromului şi în cantităţi scăzute a molibdenului şi wolframului,din martensită precipitînd fin dispers,cementită aliată cu crom,molibden sau wolfram.Spre sfîrşitul acestui interval cementita coagulează.

In domeniul temperaturilor de revenire 4oo-5oo°C,creşte conţinutul de crom în carburile precipitate,iar compuşii de tipul cementitei se transformă în compuşi tip carburi de crom.La temperaturi de revenire de 56o-58o°C separarea cromului,wolframului şi molibdenului din martensită continuă,iar compuşii de tip cementită se transformă total în compuşi de Cr ;W şi Mo cu disper-

sie fină şi structură cristalină hexagonală.Tot în acest domeniu începe să separe din martensită,vanadiul formînd carburi de vanadiu.

Austenita reziduală bogat aliată cu carbon şi elemente de aliere,nu suportă nici o transformare prin încălzire pînă la 450-500°C.După aceste temperaturi,mărindu-se difuzia,din austenită separă carbon şi elemente de aliere,care precipită sub formă de carburi.Astfel,austenita bogat aliată devine mai săracă în carbon şi elemente de aliere (sensibilizată).

In timpul răcirii,în procesul de revenire austenita sensibilizată se transformă parţial,sub temperatura de 260° în martensită, fenomen cunoscut sub denumirea de călire secundară.

Fenomenele petrecute la încălzire şi răcire sînt reluate la următoarele reveniri,astfel că austenita reziduală se micşorează la 5-8%.Revenirile repetate determină coagularea carburilor precipitate la revenirile anterioare şi prin aceasta micşorarea proprietăţilor mecanice.

Dacă duritatea măsurată după călire scade odată cu creşterea temperaturii de austenitizare,duritatea măsurată după revenire creşte cu creşterea temperaturii de austenitizare (fig.235).

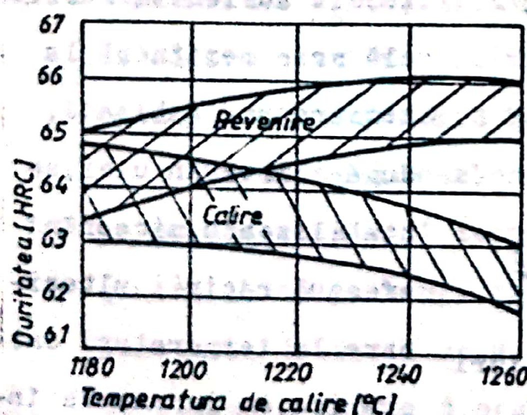


Fig.235.Variaţia durităţii oţelurilor rapide după clire şi după revenire funcţie de temperat.de călire

Duritatea după reveniri la diverse temperaturi pentru oţelul rapid Rp3 variază cu temperatura de revenire ca în fig.236.

Variaţia durităţii şi cantităţii de austenită reziduală cu numărul de reveniri este dată în fig.237.

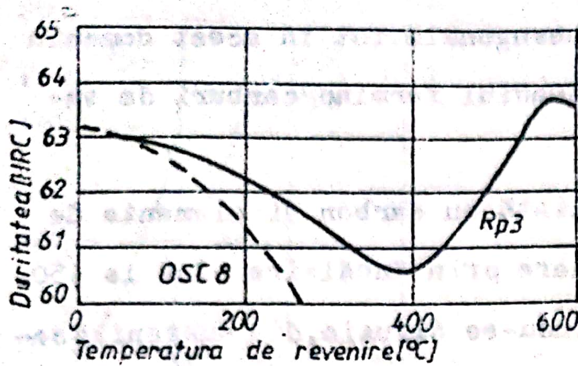


Fig.236.Variaţia durităţii oţelului rapid Rp3 cu temperatura de revenire.

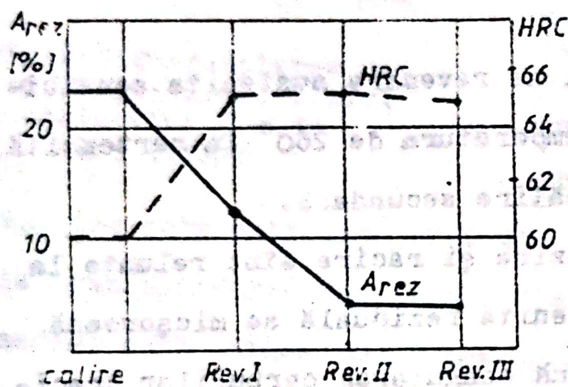


Fig.237.Influenţa numărului de reveniri asupra durităţii şi cantităţii de austenită reziduală din oţelurile rapide.

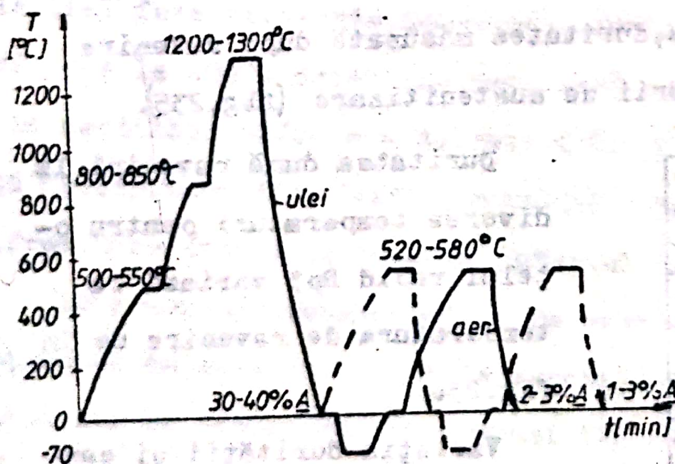


Fig.238.Tratamentul termic la temperaturi criogenice aplicat oţelurilor rapide.

Mult mai eficient, austenita reziduală din oţelurile rapide călite se poate elimina pînă la 1-3%, prin aplicarea unei răciri la temperaturi criogenice (- 70°C) imediat după călire sau între prima şi a doua revenire (fig.238). In acest caz, structura este formată dintr-o cantitate sporită de martensită bogat aliată foarte dură, carburi fine uniform distribuite şi foarte puţină austenită reziduală (1-3%). Duritatea după un astfel de tratament termic, este mai ridicată (66-67 HRC), rezistenţa la uzare şi durabilitatea cresc deasemeni. Intrucît austenita reziduală prin menţineri la temperatura ambiantă, după călirea în ulei, se stabilizează, micşorînd efectul răcirii ulterioare la temperaturi criogenice, se impune ca întreruperea între călirea în ulei şi răcirea la temperaturi negative

să fie cît mai scurtă.Influenţa întreruperii răcirii la temperatura ambiantă asupra gradului de transformare al austenitei reziduale în martensită şi asupra cantităţii de austenită reziduală după răcirea la diverse temperaturi a oţelului Rp3 rezultă din fig.239.

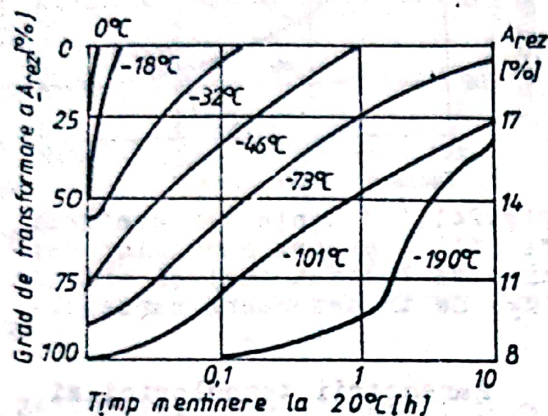


Fig.239.Influenţa întreruperii răcirii la temperatura ambiantă asupra gradului de transformare a austenitei în martensită la răcire criogenică.

Pentru sculele aşchietoare solicitate în timpul lucrului la şocuri,precum şi pentru sculele cu formă complexă,se preferă răcirea la temperaturi sub 0°C să se facă între două reveniri,pentru a se elimina pericolul formării de tensiuni interne mari care pot duce la fisurarea sculelor.

După răcirea la temperaturi criogenice se impune în mod obligatoriu aplicarea unei reveniri la 560-580°C,pentru a se elimina tensiunile interne şi a se asigura o precipitare uniformă a carburilor fine de elemente de aliere.

Valoarea temperaturii criogenice de menţinere a sculelor este în funcţie de poziţia punctului de sfîrşit de transformare a martensitei M_S (diferit pentru fiecare oţel): cu cît temperatura de răcire scade apropiindu-se de valoarea punctului M_S cu atît duritatea oţelului rapid Rp3 creşte (fig.240).

Variaţia punctelor critice M_S şi M_f pentru oţelul Rp3 scade pe măsura creşterii temperaturii de călire (fig.241).Timpul de menţinere la temperaturi criogenice trebuie să asigure egalizarea temperaturii în toată masa sculelor.Din fig.242 rezultă că menţineri de 5 minute sau de 5 ore a oţelului rapid Rp3 la temperaturi de -80°C realizează aceeaşi duritate.

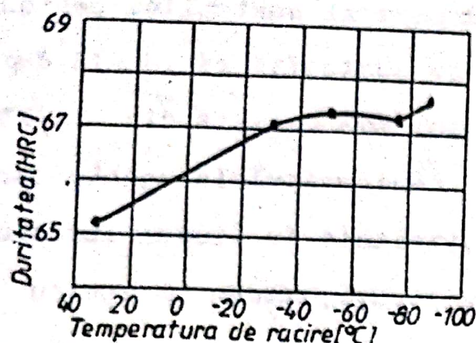


Fig.240.Influenţa temperaturii de răcire sub 0°C asupra durităţii.

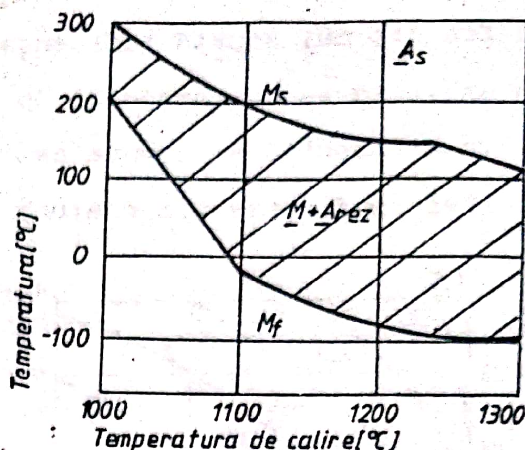


Fig.241.Influenţa temperaturii de călire asupra punctelor critice de început (M_S) şi sfîrşit (M_f) de transformare martensitică.

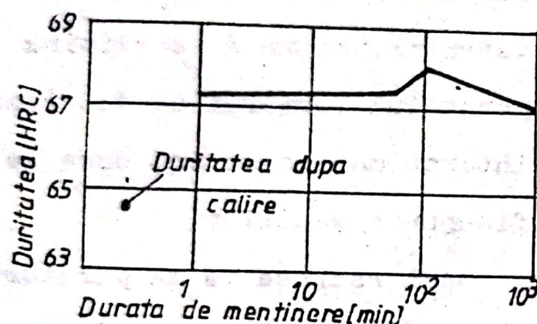


Fig.242.Influenţa timpului de menţinere la temperatura criogenică asupra durităţii.

Parametrii tehnologici ai tratamentelor termice primare şi finale aplicate oţelurilor bogat aliate de scule aşchietoare sînt daţi în tabelul 8.3.

Diagrama de ·atament termic

Tabelul 8.3

Oţelul	Recoacerea de înmuiere		Călire			Revenire	
	T [°C]	HB	T [°C]	mediu	HRC	T [°C]	HRC
15oVMoCr12o	81o-84o	255	97o-1ooo	ulei	58	1oo-25o	58-63
Rp1	79o-82o	24o-3oo	125o-13oo	ulei	6o	56o-58o	63-66
Rp2	79o-82o	26o-3oo	127o-13oo	ulei	6o	56o-58o	63-66
Rp3	8oo-83o	24o-3oo	127o-131o	ulei	6o	56o-58o	63-66
Rp5	8oo-83o	22o-27o	119o-123o	ulei	6o	54o-57o	63-66
Rp9	77o-84o	24o-3oo	118o-122o	ulei	6o	52o-55o	64-66
Rp10	77o-84o	24o-3oo	119o-123o	ulei	6o	53o-54o	64-66

complet pentru oţelul rapid Rp5 este dată în fig.243.

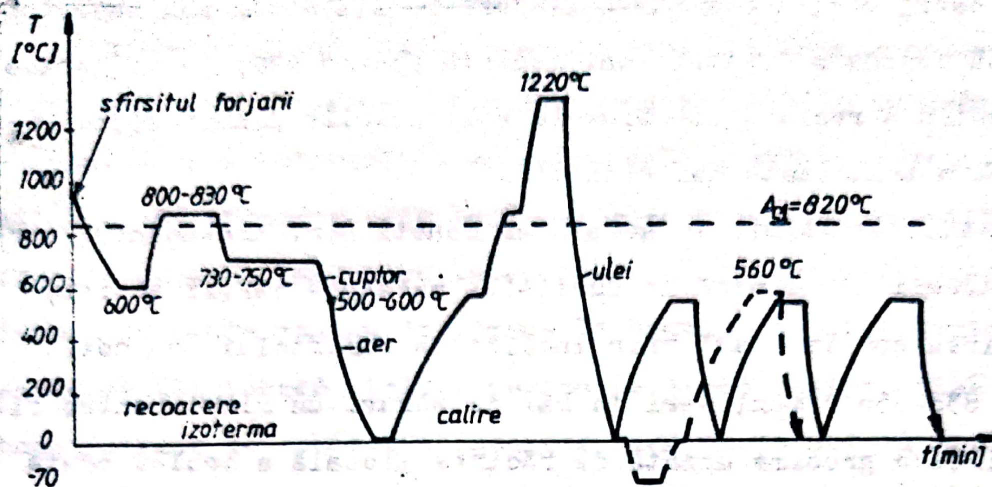


Fig.243.Graficul de tratament termic preliminar şi final al oţelului rapid Rp5.

Cînd, dintr-un motiv sau altul călirea nu a reuşit (nu s-a obţinut duritate suficientă), aceasta se poate repeta, după ce în prealabil se execută un tratament termic ce constă din încălzirea sculelor călite greşit la 840-860°C, menţinere, răcire în ulei, urmată de o recoacere subcritică la 680-720°C cu răcire în aer, fig.244.

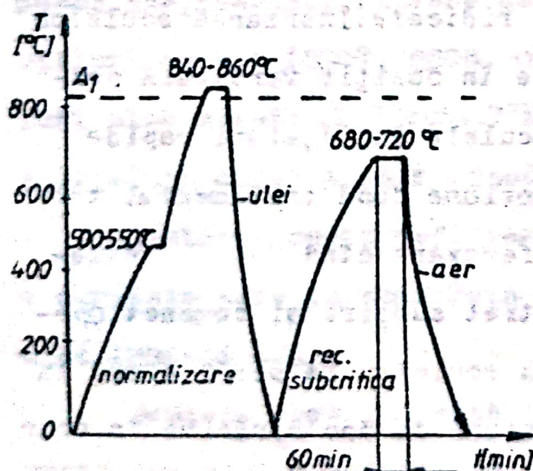


Fig.244.Graficul de tratament termic intermediar la repetarea călirii.

Intrucît oţelurile rapide sînt scumpe, în practică sculele se execută cu suporţi sau cozi din oţel carbon de calitate, de îmbunătăţire sudate. In acest caz tratamentul termic este selectiv şi constă din: călirea părţii de lucru din oţel rapid a sculei cu încălzire parţială în băi de săruri şi răcire globală a sculei în ulei sau aer; reveniri globale ciclice sau tratament termic la temperaturi criogenice; călirea cozii cu încălzire parţială în băi

de săruri şi răcire globală în apă sau ulei şi revenirea înaltă a cozii prin încălzirea şi răcirea globală în aer a sculei.

In cazul sculelor dintr-o singură bucată,coada sau suportul trebuie să posede o duritate mai scăzută (3o-4o HRC) decît partea activă pentru a rezista mai bine la solicitările dinamice,deci pentru a avea o tenacitate mai ridicată.

Tratamentul termic în acest caz constă din: tratamentul termic al întregii scule pînă la duritatea necesară părţii active, apoi revenirea suplimentară prin încălzirea suportului sau cozii sculei la 83o-85o°C,menţineri în băi de săruri un minut pentru fiecare milimetru grosime urmată de răcirea globală a sculei odată cu cuptorul.

La frezele cu diametru mare se căleşte superficial prin C.I.F.numai dantura,apoi se revine ciclic pînă la duritatea dorită după care se aplică un tratament pentru creşterea tenacităţii restului frezei.Sculele din oţeluri carbon şi slab aliate se încălzesc pentru tratamentul termic în cuptoare cu recirculaţia aerului sau în băi de săruri,iar sculele din oţeluri bogat aliate se încălzesc numai în băi de săruri,care protejează oţelurile de decarburare şi oxidare la temperaturi ridicate.Imersarea sculelor în băi de încălzire sau răcire se face în poziţie verticală pentru a preveni deformarea lor.Uneori sculele din oţeluri rapide pentru a li se mări rezistenţa la coroziune după tratamentul termic final se supun unui tratament de feroxare cînd exterior se acoperă cu oxizi de fier în strat subţire şi compact.Operaţia de feroxare constă în încălzirea sculelor la 55o°C o oră în abur supraîncălzit introdus la temperatura de 35o°C,răcire în abur pînă la 35o°C apoi în aer liber pînă la 1oo°C după care răcirea continuă în ulei cald la 4o-6o°C.

8.1.2. Tratamente termice aplicate oţelurilor de scule pentru deformare

Sculele de deformare plastică sînt scule greu solicitate la rezistenţă de contact şi la uzare prin frecare.Cu asemenea scule se prelucrează materialele metalice prin presare, tăiere, găurire, ambutisare, extrudare, trefilare, matriţare, forjare, laminare, etc. In funcţie de temperatura de lucru sculele din această categorie se împart în scule pentru deformare la rece şi la cald. Pentru asemenea scule se utilizează oţeluri carbon de scule, oţeluri slab aliate şi bogat aliate de scule. Tratamentele termice ce pot fi aplicate sînt deasemeni preliminarii şi finale.

8.1.2.1. Tratamente termice aplicate oţelurilor de scule pentru deformare la rece

Sculele pentru deformare la rece se utilizează în operaţiile tehnologice de îndoire, răsucire, presare, ambutisare, forjare, trefilare, extrudare, laminare, matriţere la rece, sfărîmare, forfecare, perforare, ştanţare, bordurare, vălţuire, refulare, etc.

Sculele destinate deformării plastice la rece (matriţe, dălţi, poansoane, foarfeci, filiere de tragere, ciocane, etc.) se execută din oţeluri carbon (OSC7, OSC8, OSC8M, OSC1o, OSC11-STAS 17oo-8o), oţeluri slab aliate 117VCro6, 97MnCrW14, 45VSiCrW2o, 9oVMn18, 55MoCrNi15, şi oţeluri bogat aliate (2ooCr12o, 15oVMoCr12o.-STAS 3611-8o).

Sculele pentru deformare plastică la rece trebuie să posede o duritate mare la suprafaţă (HRC=58-64) şi o tenacitate mare în miez (HRC=55-62).

Sculele care lucrează fără şocuri, solicitate puternic la uzare cum sînt filierele de tragere, se execută din oţeluri cu duritate superficială mare: OSC-uri; 9oVMn18, 97MnCrW14 şi 2ooCr12o.

Sculele care lucrează la şocuri mari şi sînt solicitate pu-

ternic la lovire (ciocane,matrițe de decupat,poansoane,etc.)se execută din oțeluri cu o tenacitate satisfăcătoare: OSC8; OSC1o; 117VCro6, 45VSiCrW2o, 55MoCrNi15. Uneori aceste scule de tăiere puternic solicitate la uzare se execută din oțeluri rapide (Rp5).

Tratamentul termic primar al acestor oțeluri este același prezentat la oțelurile pentru scule așchietoare și are rolul de a înmuia oțelul în vederea creșterii prelucrabilității prin așchiere și de a asigura o omogenizare mai completă a austenitei la tratamentul termic final.In general,constă dintr-o recoacere completă de înmuiere cu încălzire deasupra punctelor critice (87o-9oo°C), urmată de răcire cu cuptorul pînă la 6oo-5oo°C,apoi în aer liber. Prin acest tratament termic se asigură globulizarea cementitei și finisarea structurii.

Tratamentul termic final constă din călire urmată de revenire.

Parametrii tehnologici ai tratamentului termic final depind de natura oțelului,de forma,dimensiunile și destinația sculei.

Parametrii tehnologici ai tratamentelor termice pentru oțelurile OSC8; OSC8M; OSC1o; OSC11; 117CrVo6; 45VSiCrW2o; 9oVMn18 sînt în tabelele 8.1 și 8.2,iar pentru celelalte oțeluri destinate deformării plastice la rece sînt dați în tabelul 8.4.

Tabelul 8.4

Oțelul	Recoacere de înmuiere		C ă l i r e			Revenire	
	T,[°C]	HB	T,[°C]	mediu	HRC	T,[°C]	HRC
OSC7	68o-72o	187	8oo-82o	apă	6o-62	15o-3oo	58-62
55MoCrNi15	68o-7oo	24o	84o-88o	ulei	58	52o-56o	48
			93o-96o	ulei		21o-23o	6o-63
2ooCr12o	81o-84o	26o	95o-98o	bare săruri	6o	42o-44o	54-58

Austenitizarea oțelurilor bogat aliate 2ooCr12o, 15oVMoCr12o se

execută cu o treaptă de preîncălzire la 600-720°C, iar încălzirea finală se face în băi de săruri pentru a preveni decarburarea.

Revenirea trebuie aplicată imediat după călire, deoarece aceste oţeluri aliate cu crom au o susceptibilitate crescută la fisurare. Parametrii tehnologici de revenire pentru oţelurile de scule destinate deformării la rece se aleg în funcţie de duritate şi rezilienţă. Duritatea scade pe măsură ce creşte temperatura de revenire. In fig.245 se arată scăderea durităţii oţelului VSCW2o călit de la 900°C în ulei, după reveniri la diverse temperaturi.

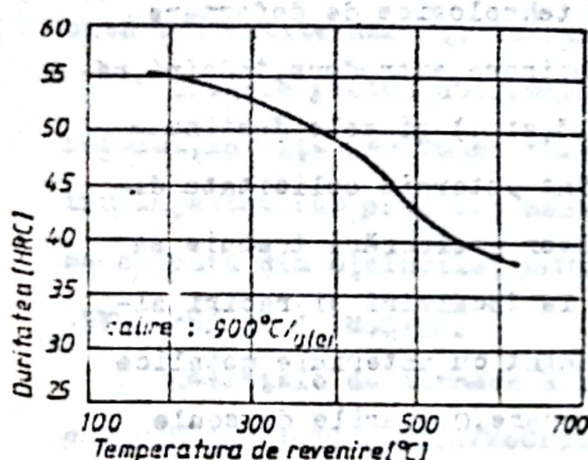


Fig.245. Variaţia durităţii oţelului 45VSiCrW2o cu creşterea temperaturii de revenire.

Pentru a preveni deformarea la tratamentul termic se iau măsuri de imersare a sculelor în mediile de încălzire şi răcire în poziţie verticală, utilizarea călirii în două medii şi chiar folosirea călirii în prese.

Unele scule cum sînt poansoanele, trebuie să posede simultan o duritate mare şi rezistenţă mare la uzare a părţii active şi o tenacitate mare a capului (cozii). Aceste scule se tratează termic selectiv, tratament care constă în călirea integrală în apă pînă se atinge temperatura de 100-120°C, apoi se revine integral la 180-200°C. In continuare se preîncălzeşte coada în băi de săruri pînă la 300-380°C, apoi se încălzeşte coada la 450°C după care se răceşte în aer liber. Acest tratament termic asigură o repartizare optimă a durităţii şi tenacităţii în lungul poansonului.

Sculele de deformare plastică solicitate puternic la uzare

şi la şocuri cum sînt cilindrii de laminare la rece,se supun călirii superficiale şi revenirii joase după un tratament termic prealabil de îmbunătăţire.

8.1.2.2. Tratamentele termice aplicate oţelurilor de scule pentru prelucrare la cald

In această categorie intră atît sculele pentru deformare plastică la cald cît şi cochiliile şi matriţele de turnare sub presiune.

Sculele utilizate în operaţiile tehnologice de deformare plastică la cald (forjare,matriţare,laminare,extrudare,îndoiri,răsucire,presare,refulare,tragere la cald,etc.) şi cele destinate turnării în cochilă şi sub presiune sînt puternic solicitate dinamic şi termic.Sculele destinate acestor prelucrări trebuie să reziste la şocuri mecanice,să reziste la încălziri şi răciri alternante,să reziste la contact îndelungat cu materiale metalice calde (900-1200°C) şi la uzare prin frecare.Oţelurile de scule pentru deformare la cald au o călibilitate mare,stabilitate termică ridicată,rezistenţă mare la şocuri termice,conductibilitate termică mare,refractaritate ridicată şi tenacitate mare.

Aceste oţeluri conţin mai puţin carbon (o,3-o,6%C) decît celelalte oţeluri de scule,tocmai pentru a nu se decarbura superficial la contactul cu materialele metalice calde.

Alierea acestor oţeluri se face cu 4,5-9%W, o,6-5,8%Cr; o,15-3%Mo; o,1-o,3%V; o,15-1,2%Si; o,3-o,6%Mn şi o,3-2%Ni.

Aceste elemente de aliere conferă oţelurilor caracteristici mecanice şi tehnologice necesare condiţiilor grele în care sculele lucrează.

Astfel,Cr şi W conferă rezistenţă la uzare şi stabilitate termică,Ni şi Mn asigură o călibilitate mare,Mo micşorează fragili-

tatea la revenire,iar Si împiedică oxidarea și arderea oțelurilor.

Oțelurile de scule pentru prelucrare la cald sînt oțeluri , carbon de scule (OSC7; OSC8 și OSC1o-STAS 17oo-8o) și oțeluri slab aliate de scule (3oVCrW85;55MoCrNi15;57VMoCrNi17;3oVMoCr3o;39VMoCr53; 4oVMoCr52 și 36WMoCr53 - STAS 3611-8o).

Oțelurile carbon de scule OSC7; OSC8 și OSC1o se utilizează la confecționarea sculelor supuse la lovituri și șoc cum sînt ciocane de forjare la cald,baroase și matrițe simple mici,care necesită tenacitate mare și duritate suficientă.

Sculele pentru deformare plastică la cald (matrițe mari de refulat,matrițe pentru extruziune,cilindri de laminor,matrițe pentru injectat sub presiune mase plastice,scule pentru forjare,etc.) se execută din oțelurile: 3oVCrW85;55MoCrNi15;57VMoCrNi17;36WMoCr53; 39VMoCr53 și 4oVMoCr52.

Matrițele de turnare sub presiune a aliajelor neferoase se execută din 3oVCrW85;3oVMoCr3o39VMoCr53 și 4oVMoCr52.

In general oțelurile destinate prelucrării la cald au o rezistență scăzută la fluaj,motiv pentru care ele nu pot fi utilizate în condiții de temperaturi ridicate și de durată.In general matrițele în timpul lucrului la cald sînt răcite.

Tratamentul termic primar al acestor oțeluri este identic cu al celorlalte oțeluri de scule prezentate și constă fie dintr-o recoacere de înmuiere prin globulizarea cementitei,fie dintr-o normalizare urmată de recoacere subcritică care urmărește eliminarea rețelei sau aglomerărilor de cementită și globulizarea ei.

Tratamentul termic final aplicat oțelurilor aliate de scule pentru prelucrare la cald (deformare plastică și turnare) constă din călire și revenire înaltă care să asigure o structură sorbitică capabilă să imprime caracteristicile mecanice și tehnologice

necesare acestor oţeluri.

Sculele pentru prelucrare la cald avînd o formă complexă se încălzesc pentru călire în trepte pentru ca tensiunile interne să fie cît mai mici.Deasemeni se recomandă încălzirea în băi de săruri sau atmosfere protectoare pentru a preveni decarburarea.Răcirea pentru călire se face în apă în cazul oţelurilor carbon şi în ulei în cazul oţelurilor aliate.In toate cazurile răcirea se face doar pînă la 15o-2oo°C după care sculele se supun imediat revenirii înalte.

Parametrii de tratament termic primar şi final al oţelurilor de scule pentru prelucrare la cald sînt daţi în tabelul 8.5

Tabelul 8.5

Oţelul	Recoacere de înmuiere		C ă l i r e		Revenire	
	T,[°C]	HB	T , [°C]	HRC	T , [°C]	HB
3oVCrW85	74o-78o	255	1o75-1125	49-52	6oo-62o	36o-47o
55MoCrNi15	68o-7oo	24o	84o-88o	48-5o	52o-56o	32o-41o
57VMoCrNi17	66o-7oo	255	84o-86o	48-52	5oo-6oo	4oo-45o
3oVMoCr3o	75o-8oo	23o	1o2o-1o6o	-	5oo-67o	-
39VMoCr53	75o-79o	23o	1o2o-1o5o	-	55o-65o	-
4oVMoCr52	75o-8oo	24o	1ooo-1o4o	-	55o-65o	-
36WMoCr53	75o-8oo	24o	1o2o-1o6o	-	55o-65o	-

Durata de menţinere la temperatura de preîncălzire este de 3o min/25 mm grosime,iar la temperatura de austenitizare de cca. 2o min/25 mm grosime.

In vederea revenirii sculelor se introduc în cuptorul preîncălzit la 25o-3oo°C şi se menţin la temperatura de revenire cca 1o-15 min/25 mm grosime.In urma revenirii înalte sculele sînt detensionate complet,au o duritate medie şi o tenacitate mare.

Uneori se aplică o călire cu răcire localizată numai a ca-

vităţilor matriţelor (suprafeţe de lucru) cu ajutorul unor duze de răcire specială. In acest caz se elimină operaţia de revenire separată, ea efectuîndu-se prin reîncălzirea cavităţilor de la masa matriţei.

Ciclul de tratament termic final pentru o matriţă de forjă din oţel 57VMoCrNi17 este dat în fig.246.

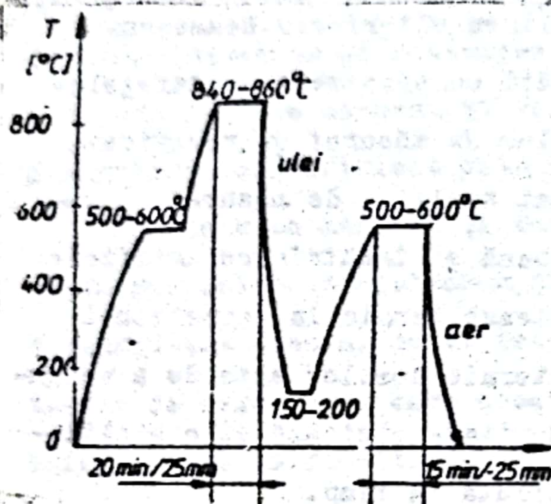


Fig.246. Graficul de tratament termic final al unei matriţe din oţel 57VMoCrNi17

8.1.3. Tratamente termice aplicate oţelurilor pentru scule de măsurat şi verificat

Sculele de măsurat şi verificat sînt supuse solicitărilor de uzare a suprafeţelor de contact. Oţelurile destinate acestor scule trebuie să posede duritate superficială ridicată (58-64 HRC), o bună rezistenţă la uzare, o stabilitate dimensională ridicată, rezistenţă la coroziune şi o capacitate ridicată la şlefuire.

Sculele de măsurat şi verificat, şublere, micrometre, calibre tampon, calibre potcoavă, şabloane, se execută din oţeluri carbon de scule (OSC1o, OSC11), oţeluri slab aliate (5oVMn18, 4oCr1o), oţeluri bogat aliate (2ooCr12o; 15oVMoCr12o; 2oCr13o) şi oţeluri de cementare (OLC1o; OLC15; OLC2o; 15Cro8; 13CrNi3o).

Oţelurile destinate acestei grupe de scule au o călibilitate redusă (fără 2ooCr12o şi 5oVMn18), un coeficient mic de dilatare în intervalul o,- 1oo°C (9,5.1o-6 - 12.5.1o-6 dacă structura este martensitică şi 16.1o-6-17.1o-6 dacă structura este austenitică) şi o segregaţie redusă a carburilor şi incluziunilor după tratamentul termic final.

Tratamentul termic primar al acestor oţeluri urmăreşte obţinerea unor structuri cît mai omogene şi cît mai stabile în timp şi să asigure deformaţii minime la tratamentul termic final.Tratamentul care asigură aceste condiţii este îmbunătăţirea (călire şi revenire înaltă) pentru obţinerea unei structuri sorbitice.Sorbita,avînd un volum specific mai apropiat de martensită decît perlita,asigură deformaţii minime la călirea ulterioară.Deasemeni sorbita asigură obţinerea unei calităţi superioare a suprafeţelor la prelucrarea prin aşchiere a sculelor de măsurat şi verificat.

Tratamentul termic final aplicat sculelor de măsurat şi verificat constă din călire,revenire joasă şi îmbătrînire artificială.Sculele de înaltă precizie se tratează termic la temperaturi criogenice.Scopul acestui tratament termic complex este de a asigura sculelor de măsrat şi verificat duritate ridicată şi o stabilitate structurală şi dimensională ridicată în timp.

Temperatura de călire se alege la limita inferioară a intervalului de temperaturi prescris pentru oţelul respectiv pentru a se obţine o cantitate cît mai mică de austenită re iduală,tensiuni şi deformaţii minime.

Incălzirea se face în trepte utilizînd băi de săruri.Răcirea pentru călire se execută în ulei pentru oţelurile aliate şi în apă pentru oţelurile nealiate.

Revenirea joasă se aplică imediat după călire şi constă în încălzirea la 12o-13o°C,menţinere îndelungată pînă la loo ore şi răcire lentă.Scopul revenirii joase este de a elimina tensiunile interne fără a micşora prea mult duritatea(6o-64 HRC).După revenirea joasă sculele de măsurat şi verificat se rectifică şi se şlefuiesc cînd se introduc din nou tensiuni interne în straturile superficiale.In scopul eliminării acestor tensiuni şi al stabiliză-

rii structurii, în final se aplică o îmbătrînire artificală. Sculele de înaltă precizie se supun unui tratament sub zero grade Celsius la (- 5o°C...- 6o°C) imediat după călirea în apă sau ulei, după care se aplică o revenire la 14o-16o°C timp de 1-3 ore. Prin acest tratament termic austenita reziduală se elimină în mare măsură, iar stabilitatea dimensională crește mult. Uneori răcirea la temperaturi negative și revenirea joasă se alternează de 2-3 ori.

Sculele de măsurat și verificat de precizie mijlocie se supun călirii superficiale prin inducție urmate de o revenire joasă.

Sculele de măsurat și verificat executate din oțeluri aliate, în special calibrele tampon, după funcționare îndelungată, cînd dimensiunile s-au micșorat datorită uzurii, se supun unui tratament termic de regenerare care constă din încălzirea acestora într-o baie de ulei la 2oo-24o°C, un timp de 2-5 ore. In timpul încălzirii și menținerii austenita reziduală cu volum specific minim se transformă în martensită cu volum specific mare, fapt ce determină creșterea dimensiunilor cu o,o4-o,o8 mm. După regenerarea dimensiunilor, duritatea scade la 57-6o HRC. Acest tratament termic poate fi aplicat numai sculelor din oțeluri aliate care după tratamentul termic final conțin în structură peste 15-2o% austenită reziduală. Regenerarea dimensiunilor calibrelor inelare uzate la care diametrul interior a crescut prin uzare se face prin încălzirea lor în băi de plumb la 75o-78o°C cu răcire în apă sau ulei. In timpul încălzirii acestor calibre stratul interior nu trebuie să se încălzească peste temperatura de revenire anterioară. Pentru aceasta calibrele se așează pe dornuri cu puțin mai mici decît calibrele, iar timpul de menținere trebuie să fie riguros ales. Diametrul interior se micșorează cu o,1 - o,2 mm. In același scop se poate utiliza încălzirea prin C.I.F.

8.1.4. Tratamente termochimice aplicate sculelor

Imbogățirea straturilor superficiale cu elemente care să formeze compuși chimici duri, reprezintă o metodă eficace de creștere a durității, rezistenței la uzare și a durabilității sculelor de așchiere, deformare plastică și de măsurare.

Tratamentele termochimice ce se aplică sculelor sînt aceleași ce se aplică și organelor de mașini: cementare, cianizare, carbonitrurare, nitrurare, sulfizare și cromizare.

Oțelurile de scule, cu excepția unor oțeluri destinate sculelor de măsurat și de deformare plastică la cald, conțin cantități mari de carbon (peste o,7%C), ca atare tratamentele termochimice urmăresc îmbogățirea straturilor superficiale în special cu N, Cr și S.

Sculele destinate așchierii, în special, cele slab aliate și bogat aliate se supun nitrurării, cianurării, cromizării și sulfizării, în scopul creșterii capacității de așchiere și a durabilității. Aceste tratamente termochimice trebuiesc repetate după fiecare ascuțire a sculelor, fapt ce duce la creșterea prețului de cost.

Cianurarea oțelurilor rapide de scule este tratamentul termochimic aplicat cel mai des, el asigură creșterea durabilității sculelor de 2 pînă la lo ori. Cianurarea se aplică acestor oțeluri după executarea a două reveniri și curățirea în prealabil a suprafețelor. Constă în încălzirea sculelor la 53o-54o°C un timp de 15-12o minute într-o baie de săruri (carbonați și cianuri) cînd se obține o adîncime de o,ol - o,o7 mm. Răcirea are loc în aer liber. Duritatea stratului superficial a oțelurilor rapide Rp3 și Rp5 după cianurare crește odată cu creșterea temperaturii de cianurare pînă la 55o°C apoi scade (fig.247).

Odată cu creșterea duratei de cianurare, adîncimea stratului crește (fig.248), în schimb duritatea scade (fig.249).

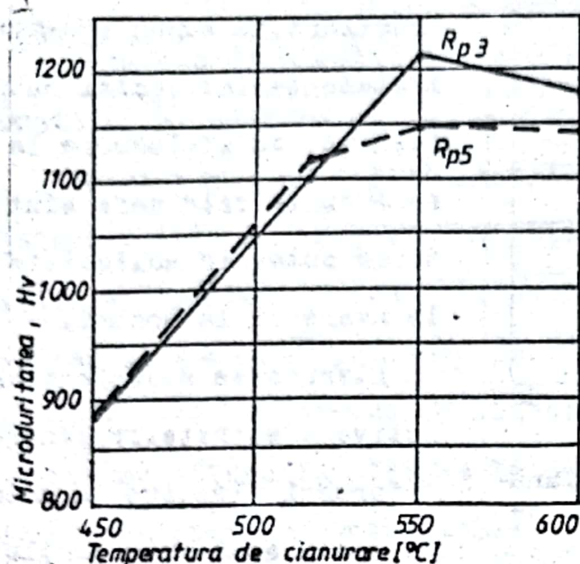


Fig.247.Variaţia durităţii stratului cianurat al sculelor din oţeluri rapide cu temperatura de revenire.

Sculele aşchietoare din oţel rapid supuse tratamentului de sulfizare capătă însuşiri aşchietoare apropiate celor obţinute prin cianurare.Sulfizarea sculelor aşchietoare din oţeluri rapide constă în încălzirea acestora în băi de săruri (NaCNS + Na_2SO_3+ Na_2SO_4+ KCl) la temperaturi de 54o-57o°C timp de o oră,cînd se obţin adîncimi de pătrundere a sulfului de o,15-o,3 mm.

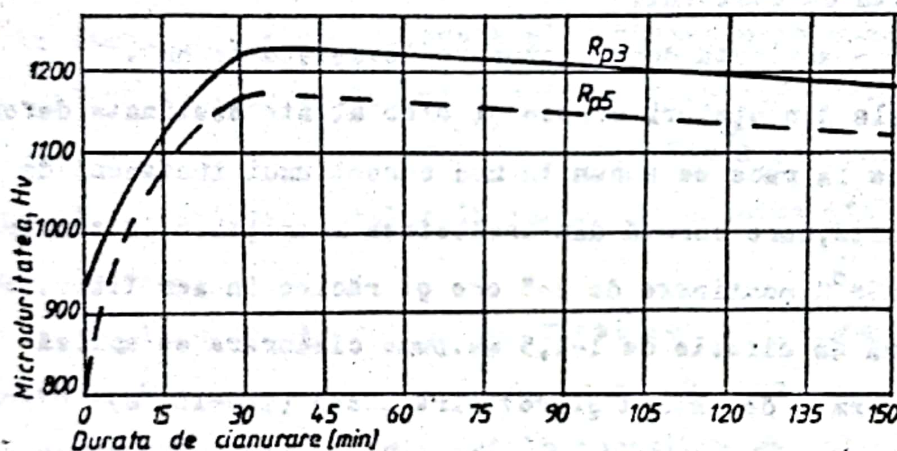


Fig.248.Variaţia durităţii stratului cianurat al sculelor din oţeluri rapide cu durata de cianurare.

In ultimul timp sculele aşchietoare din oţeluri rapide se supun nitrurării ionice, în urma căreia durabilitatea creşte foarte mult.Deasemeni combinarea nitrurării ionice cu tratament termic la temperaturi criogene constituie un mijloc eficace de creştere a durabilităţii sculelor.

Sculele de deformare plastică îşi sporesc în mod considerabil duritatea şi rezistenţa la uzare păstrînd în acelaşi timp un miez tenace prin tratamente termochimice de nitrurare,cianizare şi

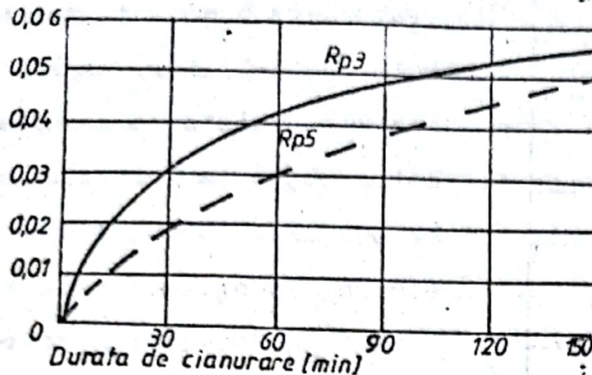


Fig.249.Variaţia adîncimii de cianurare de timpul de cianurare la oţelurile rapi...

cromizare.Se supun acestor tratamente în special matriţele pentru prelucrare la rece şi la cald care sînt scule puternic solicitate la uzare şi la şocuri.

Nitrurarea suprafeţelor active a matriţelor pentru deformări plastice la cald se realizează prin încălzirea acestora într-un curent de NH_3 la temperaturi de 48o-525°C,menţinere de 3o-5o ore urmată de răcire odată cu cuptorul.

Duritatea obţinută după nitrurare depăşeşte 64 HRC.

Matriţele din oţeluri carbon şi slab aliate destinate deformării plastice la rece se supun în mod curent unui tratament de cianurare înaltă,care constă din încălzirea matriţelor la temperaturi de 84o-85o°C,menţinere de 2-3 ore şi răcire în aer liber.Se obţin adîncimi de difuzie de 1-1,5 mm.După cianurare se aplică tratamentul termic de călire şi revenire joasă (16o-18o°C)

Matriţele din oţeluri bogat aliate (15oVMoCr12o) se supun cianurării joase la 52o-56o°C,cînd se obţin adîncimi de o,o5-o,1mm.

Sculele de trefilare îşi măresc considerabil caracteristicile de lucru prin cromizare în mediu solid.Cromizarea constă în încălzirea sculelor la 9oo-925°C într-un amestec format din pulbere de crom şi iodură de amoniu.In urma cromizării duritatea straturilor superficiale creşte pînă la 62-65 HRC.

Sculele de ştanţare şi debavurare la rece din oţeluri rapide se pot supune tratamentului termochimic de cementare urmat de că-

lire şi reveniri ciclice,cînd straturile exterioare devin foarte dure.

Sculele de măsurat şi verificat se tratează termochimic prin cementare şi nitrurare.

Cementarea se aplică sculelor de măsurat şi verificat din oţeluri aliate şi nealiate cu puţin carbon în scopul creşterii rezistenţei la uzare.Cementarea acestor scule are loc prin încălzirea lor la 900-920°C,un timp de 8-10 ore pentru 0,7-1 mm adîncime. Se utilizează în general medii solide sau gazoase.După cementare sculele se călesc în ulei de la 840-860°C şi se revin la 650-660°C pentru finisarea structurii miezului.Ulterior sculele se tratează termic final prin călire de la 770-790°C,revenire la 170-190°C, rectificare,şlefuireşi îmbătrînire artificială la 145-155°C.

Prin nitrurare sculele de măsurat şi verificat îşi măresc mult stabilitatea dimensională şi rezistenţa la uzare.Nitrurarea se aplică după un tratament termic de îmbunătăţire.Constă în încălzirea sculelor în curent de NH_3 la 510-540°C,menţinere de 35-40 ore urmată de răcirea sculelor în curent de amoniac pînă la 100°C apoi în aer.

Sculele de măsurat şi verificat se pot supune unei acoperiri galvanice cu crom (cromare dură) în scopul creşterii rezistenţei la uzare,creşterii rezistenţei la coroziune sau al regenerării dimensiunilor după uzare.Cromarea se face după tratamentul termic final utilizînd un electrolit format din CrO_3 250 g/l; H_2SO_4 2,5g/l şi H_2O la 50-55°C cu o densitate de curent de 45 A/dm^2.După cromare în strat rămîne o cantitate de hidrogen care se elimină prin încălzire la 180°C în ulei un timp de 2-3 ore.Stratul dur de crom are o grosime de 0,005-0,02 mm şi o duritate de 800-950 HV.

Sculele se pot deasemeni acoperi cu carbură de titan (TiC)

sau sulfură de molibden (MoS_2) în scopul creşterii rezistenţei la coroziune şi al durabilităţii lor.

Carbura de titan se impregnează pe suprafeţele sculelor prin pulverizare,iar sulfura de molibden se adaogă în lichidul de răcire la tratamentul termic final.

Dezavantajul tratamentului termochimic aplicat sculelor constă în faptul că el trebuie aplicat după fiecare ascuţire a sculelor.

8.2. Tehnologii de tratament termic şi termochimic aplicate organelor de maşini

Proprietăţile fizico-mecanice şi tehnologice variate ale semifabricatelor şi organelor de maşini sînt obţinute nu numai prin variaţia compoziţiei chimice a oţelurilor şi fontelor ci şi prin aplicarea unor tehnologii specifice de tratamente termice şi termochimice.

Diversitatea mare a organelor de maşini ca formă,dimensiuni, solicitări la care sînt supuse şi materiale impune o diversitate largă a tratamentelor termice şi termochimice specifice.

In funcţie de etapa de fabricaţie a pieselor şi organelor de maşini tratamentele termice aplicate acestora sînt tratamente primare,cînd se aplică semifabricatelor laminate,turnate,forjate, matriţate,sudate în vederea obţinerii unei structuri şi durităţi adecvate prelucrărilor mecanice ulterioare şi tratamente finale care se aplică pieselor în stare prelucrată în scopul de a le imprima proprietăţi de rezistenţă ridicată.

Tratamentele termice primare: recoaceri,normalizări,căliri de punere în soluţie şi îmbunătăţiri,iar tratamentele termice finale sau secundare constau din călire,revenire şi îmbătrînire.

In determinarea unei tehnologii specifice de tratament ter-

mic se ţine seama de compoziţia chimică a materialului,de forma şi dimensiunile pieselor, de destinaţia şi rolul lor funcţional şi de utilajul existent.

Tehnologiile de tratament termic sînt diferite pe grupe de piese care au caracteristici comune: formă şi rol funcţional.

8.2.1. Tratamentul termic al rulmenţilor

Organele de rulmenţi (inele,bile,role) sînt puternic solicitate la presiuni specifice mari,la uzură,la oboseală de contact şi la compresiune.Se execută din oţeluri de rulmenţi RUL1 şi RUL2-STAS 1456-8o care conţin o,95-1,1%C; o,2-1,2%Mn; 1,3-1,65%Cr şi o,17-o,65%Si.Rulmenţii rezistenţi la coroziune se execută din oţel inoxidabil 4oCr13o.

Caracteristicile de exploatare ridicate ale organelor de rulmenţi sînt asigurate de structura obţinută prin tratamentul termic final formată din martensită foarte fină,carburi globulare fine şi austenită reziduală 5-1o%.

Incluziunile nemetalice au un rol deosebit în exploatarea rulmenţilor.Ele trebuiesc limitate la minimum posibil deoarece prezenţa lor pe suprafeţele de rulare constituie concentratori de eforturi şi locuri de amorsare a fisurilor de oboseală.

Tratamentul termic primar aplicat semifabricatelor sub formă de bare laminate are ca scop eliminarea segregaţiilor,benzilor şi reţelelor de carburi,micşorarea durităţii,eliminarea tensiunilor interne,eliminarea ecruisării şi asigurarea după călire şi revenire a unei structuri optime.Ca tratamente termice primare,oţelurilor de rulmenţi li se aplică: recoacerea de globulizare,normalizarea şi recoacerea de detensionare.

Semifabricatele din care se execută organele pentru rulmenţi se livrează în stare recoaptă.

Recoacerea de globulizare se face la 76o–81o°C cu menţinere de 2-8 ore şi răcire lentă cu cuptorul (2o°C/h) pînă la 69o°C apoi în aer liber (fig.25o). In acelaşi scop se poate aplica şi o recoacere izotermă cu o menţinere de 15-16 ore la 7oo-72o°C după austenitizare la 76o-81o°C. Structura este formată din perlită globulară fină, iar duritatea este sub 15o-23o HB. Perlita globulară fină asigură oţelurilor de rulmenţi după călire şi revenire duritate maximă şi o tenacitate ridicată.

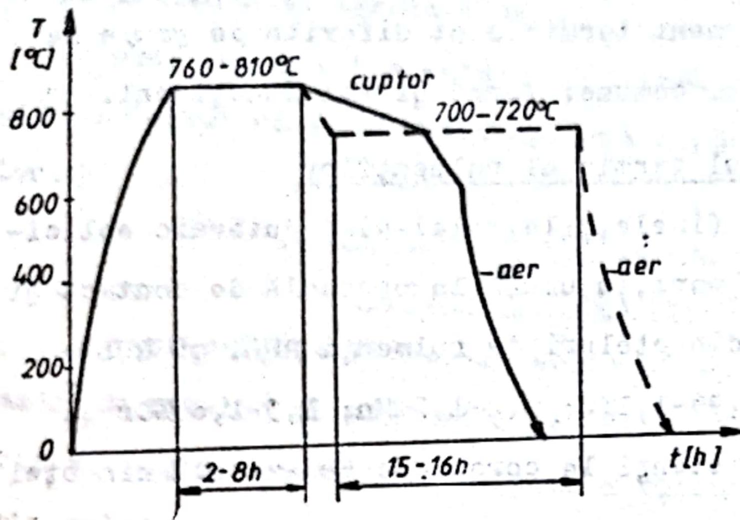


Fig.25o. Graficul de recoacere de globulizare al oţelurilor de rulmenţi.

Normalizarea se aplică oţelurilor de rulmenţi în scopul eliminării reţelei de cementită şi a micşorării grăunţilor. Normalizarea precede recoacerea de globulizare. Se face prin încălzire la 86o - 9oo°C urmată de răcire în aer liber.

Recoacerea de detensionare se aplică organelor de rulmenţi ecruisate. Constă din încălzire 1-2 ore la 6oo-65o°C urmată de răcire lentă cu cuptorul.

Tratamentul termic final al organelor de rulmenţi constă din călire şi revenire joasă.

Călirea se face în ulei sau apă la temperaturi de 8oo-85o°C în funcţie de forma şi dimensiunile organelor de rulmenţi. Astfel, bilele şi organele cu dimensiuni mari se călesc în apă pentru a asigura o călibilitate mărită, iar inelele care sînt mai susceptibile de deformare se călesc în ulei.

In vederea prevenirii deformaţiilor,inelele de rulmenţi se pot căli în trepte cu menţineri la 15o-16o°C în săruri topite.

După călirea corectă,structura oţelurilor de rulmenţi trebuie să conţină martensită aciculară foarte fină (hardenită),carburi globulare fine uniform distribuite şi austenită reziduală 8-1o%. Cantitatea de austenită reziduală poate fi redusă la 2-3% dacă răcirea în apă sau ulei este continuată cu o răcire pînă la -7o°C. In structura de călire nu se admite troostită.

Revenirea se aplică imediat după călirea în apă,ulei sau după răcirea sub 0°C,în scopul eliminării tensiunilor interne şi al creşterii stabilităţii dimensionale.

Incălzirea pentru revenire se face lent (5o°C/h) pînă la 15o-23o°C,menţinere la 1,5-2,5 ore urmată de răcire în aer.Cu cît temperatura de revenire este mai înaltă cu atît duritatea obţinută va fi mai mică.Temperatura de revenire trebuie să fie cu 5o°C mai mare decît temperatura dezvoltată în rulmenţi în timpul exploatării.

Duratele lungi de revenire asigură o mai bună stabilitate structurală şi dimensională a organelor de rulmenţi.

Austenita reziduală şi prezenţa tensiunilor interne sînt sursele modificării dimensiunilor organelor de rulmenţi în timpul depozitării sau exploatării,care duc la apariţia fie a zgomotelor, fie la griparea rulmenţilor.Tratamentul termic sub 0°C acţionează asupra micşorării cantităţii de austenită reziduală,iar revenirea de lungă durată acţionează asupra micşorării tensiunilor interne.

Parametrii tehnologici ai tratamentelor termice aplicate organelor de rulmenţi sînt daţi în tabelul 8.6.

Rulmenţii cu dimensiuni mari puternic solicitaţi la uzare,oboseală şi la şoc mecanic se execută din oţeluri pentru cementare

Tabelul 8.6

Oţelul	Normalizarea		Recoacere de globuliz.		Călirea			Revenirea	
	T [°C]	HB	T [°C]	HB	T [°C]	mediu	HRC	T [°C]	HRC
RUL 1	870-900	220	760-810	207	800-840 810-850	apă ulei	62-66	150-230	60-63
RUL 2	860-890	240	760-810	217	790-830 800-840	apă ulei	61-65	150-230	59-62

aliate cu crom şi nichel.

Tratamentul termic primar al acestor oţeluri,care constă dintr-o normalizare urmată de recoacere de globulizare,vizează eliminarea structurii în benzi,eliminarea grăunţilor grosolani şi creşterea prelucrabilităţii prin aşchiere.După prelucrarea mecanică prin strunjire,organele acestor rulmenţi se supun cementării de 1-3 ore la 930-950°C cu răcire în aer sau ulei.

In final se călesc în ulei de la 800°C şi se revin la 150-160°C un timp de 10 ore.Duritatea în stratul superficial este de 61-65 HRC,iar în miez de 33-45 HRC.

Oţelurile pentru rulmenţi se pot supune unui tratament termochimic de nitrurare,prin care se măresc tensiunile de compresiune din stratul superficial,cu efect pozitiv asupra rezistenţei la oboseală a rulmenţilor.

Graficul de tratament termic final al oţelului de rulmenţi RUL 1 este dat în fig.251.

Tratamentul termic al rulmenţilor este organizat în flux continu.

8.2.2. Tratamentul termic al arcurilor

Arcurile sînt organe de maşini care prin proprietăţile lor elastice amortizează vibraţiile,şocurile şi loviturile,acumulează energia potenţială pe care o poate transforma ulterior în lucru mecanic,limitează şi reglează forţele şi măsoară forţele şi momentele.

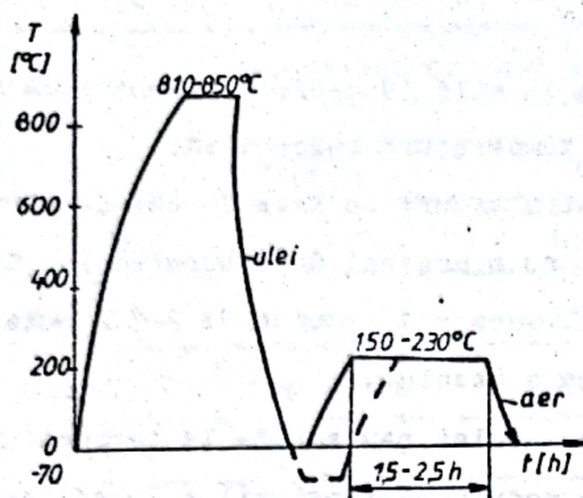


Fig.251.Graficul de tratament termic final aplicat oţelului de rulmenţi RUL 1.

Caracteristica principală a arcurilor este de a acumula o cantitate de energie potenţială a cărei valoare variază proporţional cu pătratul rezistenţei la rupere.

Arcurile se execută din oţeluri carbon şi aliate pentru arcuri: OLC65A; OLC75A;OLC85A; 51Si17A; 51VCr11A;60Si15A; 40Si17A; 56Si17A; 65S2WA-STAS 795-80 şi STAS 11514-80.Arcurile ce lucrează în medii corosive se confecţionează din oţelul anticorosiv 40Cr130.

Caracteristicile de exploatare ale oţelurilor pentru arcuri sînt: elasticitate ridicată ($R_{0,2}$= 0,9R),rezistenţă la oboseală,rezistenţă la temperaturi ridicate şi rezistenţă la coroziune.Aceste caracteristici sînt obţinute prin tratamente termice finale.

Elementele de aliere Si,Mn,Cr şi V măresc călibilitatea şi elasticitatea.

In funcţie de destinaţie,arcurile pot fi elicoidale,spirale disc,inelare,bare de torsiune sau din foi.

Arcurile sînt înfăşurate sau îndoite la forma finală prin deformare plastică la rece sau la cald.

Arcurile elicoidale şi spirale se înfăşoară fie la rece (51VCr11A) cînd în prealabil sînt supuse unei recoaceri de înmuiere, iar după înfăşurare se călesc şi se revin mediu,fie la cald (56Si17A şi60Si15A) cînd după înfăşurare se călesc şi se revin.In toate cazurile,după realizarea arcurilor prin deformare la rece sau la cald

se aplică o recoacere de detensionare înainte de a se aplica călirea şi revenirea arcurilor.

Arcurile foi sînt îndoite la cald (9oo-95o°C).Acestea se călesc direct după îndoire de la temperatura respectivă.

Incălzirea oţelurilor pentru arcuri se face în băi de săruri sau în atmosfere controlate pentru a preveni decarburarea lor.Menţinerea la temperatura de austenitizare este scurtă de 2-3 minute pentru fiecare milimetru grosime a arcului.

Călirea arcurilor se face în ulei sau apă de la temperaturi cuprinse între 81o-88o°C.Pentru reducerea tensiunilor la călire se poate aplica o călire în două medii apă/ulei sau ulei/aer sau o călire izotermă,menţineri de 15 minute la 28o°C.Prin aceste metode de călire se elimină revenirea ulterioară a arcurilor.

Revenirea arcurilor se aplică imediat după călire şi constă în încălzirea lor în băi de săruri la temperaturi cuprinse între 45o-52o°C un timp de 5-1o minute.Creşterea temperaturii de revenire peste valorile prescrise determină micşorarea elasticităţii şi a rezistenţei la rupere a arcurilor.

Parametrii tehnologici ai tratamentelor termice aplicate arcurilor sînt daţi în tabelul 8.7.

Tratamentul termic complet al unui arc elicoidal executat prin deformare plastică la rece din oţel aliat 51VCr11A este indicat în fig.252.

Pentru a preveni deformările arcurilor sub propria lor greutate în timpul încălzirii,se utilizează dispozitive speciale de aşezare a arcurilor în care acestea sînt încălzite şi răcite pentru diverse tratamente termice.

In lipsa dispozitivelor necesare arcurile elicoidale şi spirale, în cuptoare, se aşează în poziţie culcat,iar arcurile foi se a-

Tabelul 8.7

Oţelul	Recoacerea de înmuiere	Recoacerea de detensionare	Călirea	Revenirea	
	T, [°C]	T, [°C]	T, [°C]	T, [°C]	HB
OLC 55A	680 - 700	600 - 660	830-850	400-460	350
OLC 65A	680 - 700	600 - 660	830-850	450-510	360
OLC 75A	690 - 710	600 - 660	810-830	450-510	400
OLC 85A	680 - 700	600 - 660	810-830	450-510	400
51VCr 11A	700 - 720	680 - 700	830-850	450-520	450
56Si 17A	700 - 720	680 - 700	860-880	430-490	342
60Si 15A	700 - 720	670 - 690	850-870	430-490	400
51Si 17A	700 - 720	680 - 700	860-880	430-490	363
40Si 17A	700 - 720	680 - 700	860-880	430-490	375
65 S2WA	700 - 720	680 - 700	850-870	420	321

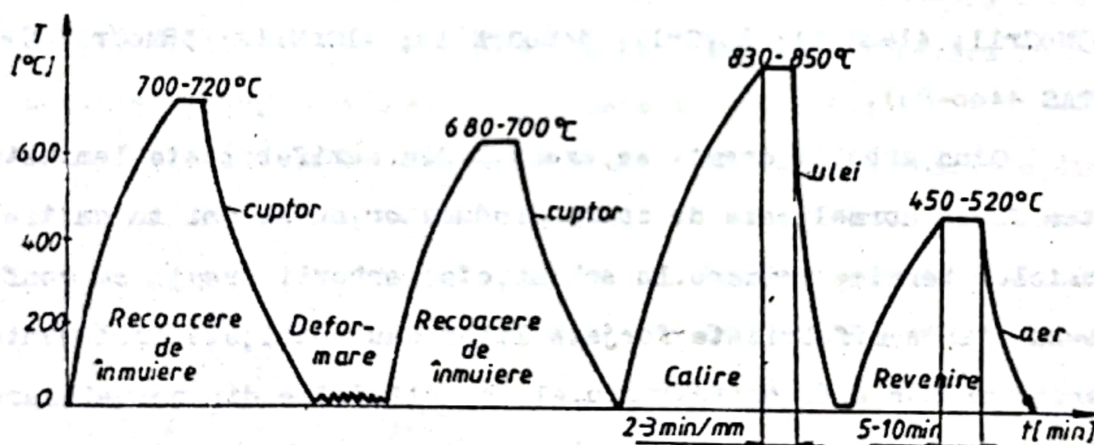


Fig.252.Graficul de tratament termic complet al unui arc elicoidal din oţel 51VCr 11A.

şează pe muchie pentru a preveni deformarea.

După tratamentele termice finale arcurile se curăţă prin sablare cu alice care realizează în plus şi o durificare prin ecruisarea unui strat de 0,25 mm fapt ce determină creşterea rezistenţei

la oboseală a arcurilor.

8.2.3.Tratamentul termic al arborilor drepţi

Arborii drepţi sînt organe de maşini sub formă de cilindri lungi plini sau goi,netezi sau în trepte,prevăzuţi cu canale de pană sau caneluri cu rolul de a transmite mişcări de rotaţie şi puteri, supuşi la solicitări complexe de încovoiere,torsiune,uzare şi oboseală.Arborii sau axele sînt sprijiniţi pe lagăre de alunecare sau pe rulmenţi în funcţie de turaţia şi momentul transmise.

Arborii se execută din oţeluri de construcţie carbon de calitate şi aliate,care în urma tratamentelor termice aplicate sînt caracterizate prin: rezistenţă la rupere,tenacitate,rezistenţă la oboseală şi la uzare ridicate.Aceste oţeluri sînt: oţeluri carbon de calitate de cementare (OLC1o; OLC15; OLC2o); oţeluri de calitate de îmbunătăţire (OLC35; OLC45; OLC5o; OLC55; OLC6o-STAS88o-8o);oţeluri aliate de cementare (13CrNi3o; 15Cro8; 21TiMnCr12; 21MoMnCr12; 18MnCr1o- STAS 44oo-8o); oţeluri aliate de îmbunătăţire (4oCr1o; 33MoCr11; 41MoCr11; 5oVCr11; 34MoCrNi15; 41CrNi12; 38MoCrAlo9-STAS 44oo-8o).

Cînd arborii drepţi se execută din semifabricate laminate,acestea fiind normalizate de către producător,nu se mai supun tratamentelor termice primare.In schimb,cînd arborii drepţi se confecţionează din semifabricate forjate liber sau matriţate,tratamentul termic primar este obligatoriu,el constînd fie din normalizare,fie pentru unele oţeluri aliate mai dure,din normalizare urmată de o recoacere subcritică de globulizare.Rolul tratamentului termic primar la asemenea semifabricate este de a îmbunătăţi prelucrabilitatea prin aşchiere,refacerii structurii,ameliorarea caracteristicilor mecanice şi eliminarea tensiunilor interne.

Tratamentele termice finale aplicate arborilor drepţi,sînt în

funcţie de solicitările în exloatare,calitatea materialului,dimensiunile şi modul de sprijinire a lor.

Astfel,arborii drepţi sprijiniţi pe lagăre de rostogolire se supun unei căliri şi reveniri înalte (îmbunătăţiri),iar arborii sprijiniţi pe lagăre de alunecare se supun fie unor tratamente termochimice ale fusurilor,fie unei căliri superficiale urmate de reveniri.

Călirea pătrunsă a arborilor se face prin încălzirea acestora la temperaturi ce depăşesc punctul critic A_{C3} cu 3o-5o°C,menţinere în funcţie de dimensiunile arborilor şi răcire în apă pentru oţelurile carbon sau în ulei cald la 4o-8o°C pentru oţelurile aliate.

Introducerea arborilor în incinta de încălzire,în general cuptoare electrice cu recirculaţie a aerului,se face în poziţie verticală suspendată,iar imersarea în baia de călire are loc deasemeni în poziţie verticală,evitîndu-se astfel deformările arborilor.

După călire se aplică o revenire înaltă la 55o-65o°C cu o menţinere în funcţie de dimensiunile arborilor şi răcire în aer sau ulei pentru oţelurile cu fragilitate la revenire.

Graficul de îmbunătăţire a unui arbore de transmisie din oţel aliat 41MoCr11 este dat în fig.253.

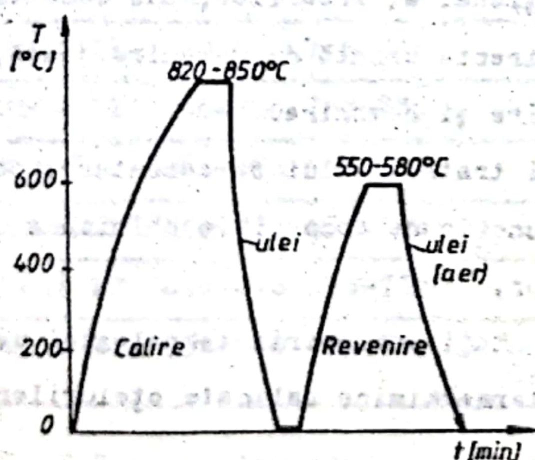


Fig.253.Graficul de tratament termic de îmbunătăţire al unui arbore drept din oţel aliat 41MoCr 11

Călirea superficială se aplică arborilor puternic solicitaţi mecanic la încovoiere şi oboseală,în zona fusurilor de sprijin şi în zonele de transmitere a momentelor (porţiuni canelate sau cu canal de pană).

In funcţie de forma şi lungimea porţiunii de călit superficial precum şi de utilajul

existent,se aleg diverse metode de călire superficială: călirea prin inducţie cu C.I.F.,cu flacără,cu rezistenţă electrică de contact sau prin electrolit.Se pot utiliza procedee de călire succesivă cînd L >2D sau simultană cînd se încălzeşte dintr-o dată întreaga porţiune.In mod curent,fusurile arborilor drepţi,se călesc prin inducţie cu C.I.F.cînd arborele în mişcare de rotaţie cu 5o-5oo rot/min se introduce într-un inductor mono sau multispiral răcit cu apă prin care circulă un curent de 2ooo-8ooo Hz.Se obţin astfel adîncimi de călire de 1...3 mm.

In cazul călirii succesive,între inductor şi arbore există o mişcare de translaţie axială cu o viteză de 2-3o mm/s.

Răcirea se face prin duş de apă sau emulsie direct prin inductor.Jetul de apă sau emulsie are o înclinare faţă de axa piesei de 3o-45° în cazul călirii succesive.

Arborii care lucrează în condiţii grele de solicitări la oboseală şi uzare se supun tratamentelor termochimice selective de cementare (fusuri,porţiuni canelate sau cu canale de pană).In timpul cementării porţiunile ce nu trebuiesc cementate se protejează prin acoperiri galvanice sau alte procedee.

In funcţie de rolul funcţional al arborilor,după cementare, aceştia se supun fie călirii directe urmată de revenire joasă,fie unei normalizări urmată de călire şi revenire.

Parametrii tehnologici ai tratamentului de cementare,normalizare,călire şi revenire sînt funcţie de compoziţia chimică a oţelului şi de dimensiunile arborilor.

In tabelul(8.8)sînt prezentaţi parametrii tehnologici pentru diverse tratamente termice şi termochimice aplicate oţelurilor destinate arborilor drepţi.

Tabelul 8.8

Oţelul	Normalizare	Recoacere de globulizare	Cementare	Călire		Revenire	
	T, [°C]	T, [°C]	T, [°C]	T, [°C]	Mediu	T, [°C]	Mediu
OLC 1o	8oo-9oo	-	9oo-93o	9oo-93o	ulei	15o-18o	aer
OLC 15	88o-9oo	-	88o-93o	88o-9oo	apă	15o-18o	aer
OLC 20	87o-89o	-	88o-93o	86o-88o	apă	15o-18o	aer
AUT 12	88o-9oo	-	82o-85o	82o-85o	ulei	16o-18o	aer
OLC 35	84o-89o	68o-7oo	-	84o-86o	apă	57o-6oo	aer
OLC 45	83o-89o	68o-7oo	-	83o-85o	apă	57o-62o	aer
OLC 5o	82o-84o	68o-7oo	-	82o-84o	apă	55o-65o	aer
OLC 55	81o-85o	68o-7oo	-	81o-83o	apă	55o-65o	aer
OLC 6o	8oo-82o	68o-7oo	-	8oo-82o	ulei	57o-62o	aer
13CrNi3o	85o-87o	68o-72o	9oo-93o	85o-87o	ulei	17o-19o	aer
15Cr o8	87o-9oo	69o-72o	9oo-93o	86o-89o	apă	16o-18o	aer
21TiMnCr12	9oo-92o	65o-7oo	89o-91o	86o-89o	ulei	16o-2oo	aer
21MoMnCr12	83o-86o	65o-7oo	87o-89o	82o-85o	ulei	16o-2oo	aer
18MnCr 10	87o-89o	68o-72o	9oo-93o	86o-89o	ulei	16o-18o	aer
40Cr 10	84o-87o	68o-7oo	-	83o-86o	ulei	5oo-53o	ulei
33MoCr 11	85o-88o	7oo-73o	-	82o-85o	apă	55o-6oo	ulei
41MoCr 11	85o-88o	7oo-73o	-	82o-85o	ulei	54o-58o	aer
50VCr 11	86o-89o	68o-72o	-	84o-87o	ulei	56o-6oo	aer
34MoCrNi15	84o-87o	65o-7oo	-	83o-86o	ulei	58o-63o	aer
41CrNi 12	84o-87o	68o-72o	-	8oo-83o	ulei	52o-58o	ulei
38MoCrAlo9	93o-96o	71o-74o	Nitrurare 52o-56o	92o-95o	ulei	62o-65o	ulei

8.2.4. Tratamentul termic şi termochimic al roţilor dinţate

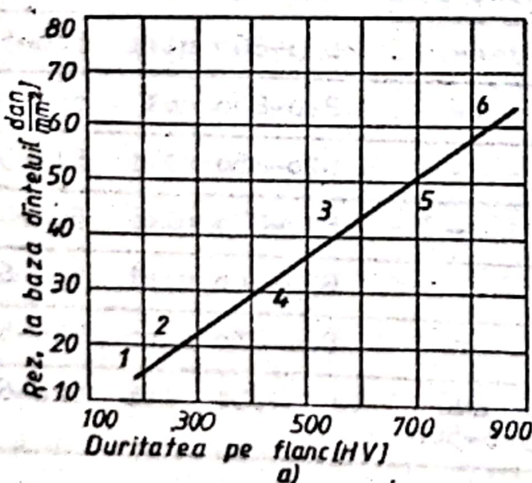
Roţile dinţate formează un grup de piese într-o varietate ma-

re de forme şi dimensiuni puternic solicitate la uzare,presiune de contact,oboseală de contact,încovoiere,oboseală prin încovoiere şi şoc şi la temperatură.

Roţile dinţate folosesc la transmiterea mişcării şi puterii în construcţia de maşini; sînt organe de maşini ce aparţin ansamblurilor cutii de viteză şi reductoare.

In funcţie de gradul de solicitare,dat de viteza şi puterea transmisă angrenajelor roţile dinţate se grupează în patru categorii: slab,mediu,greu şi foarte greu solicitate.

In exploatare,roţile dinţate sînt solicitate în principal la oboseală de contact a flancului dintelui şi la oboseală de încovoiere a fundului dintelui.Rezistenţa la oboseală de contact a flancului dintelui este corelată cu duritatea superficială a acestuia prin relaţia: R_{ft}= o,75.HV,iar rezistenţa la oboseală prin încovoiere a fundului dintelui este corelată cu duritatea prin relaţia: R_f= (HV/1oo)^2. Variaţia rezistenţei la oboseală a fundului şi flancului dintelui funcţie de duritatea superficială este dată în fig. 254 a,b.



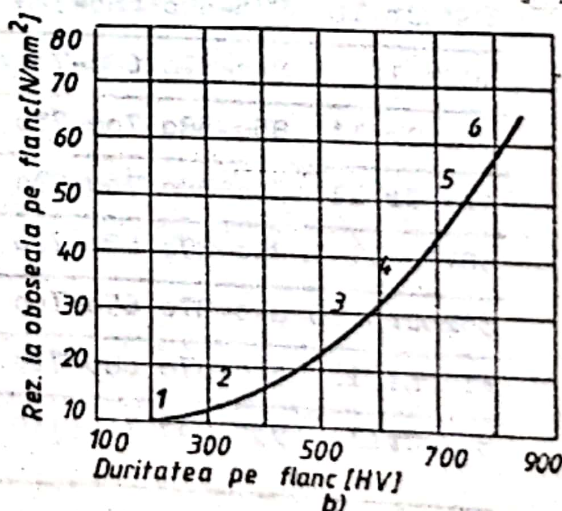


Fig.254.Dependenţa rezistenţei la oboseală a fundului (a) şi a flancului dintelui (b) de duritatea danturii roţilor dinţate.

Valorile foarte mici aparţin unui oţel nealiat îmbunătăţit (1),valorile puţin mai mari aparţin unui oţel aliat îmbunătăţit (2),valorile medii aparţin oţelurilor aliate nitrurate (3) sau călite superficial (4),iar valorile foarte mari aparţin unor oţeluri aliate cementate (5) sau nitrurate ionic(6).Deci,alegerea materialelor pentru roţi dinţate precum şi tehnologia de tratament termic sau termochimic se face în funcţie de gradul de solicitare şi rolul funcţional al roţilor dinţate.

Caracteristicile de exploatare ale roţilor dinţate sînt asigurate de o structură care să asigure o tenacitate ridicată a miezului dintelui şi o rezistenţă mare la uzare a flancului dintelui. Structura respectivă se obţine atît prin alierea oţelurilor cît mai ales prin aplicarea unor tratamente termice şi termochimice specifice.Astfel,roţile dinţate slab solicitate mecanic (care transmit mişcări cu viteze mici şi puteri mici prin acţionare manuală) se execută din oţeluri nealiate semidure (17o-25o HB) netratate sau tratate termic prin normalizare sau îmbunătăţire: OLC45; OLC50-STAS 88o-8o. Se pot utiliza deasemeni fontă cenuşie,bronz şi mase plastice (textolit,pertinax,relon,teflon etc).

Roţile dinţate care transmit puteri mari la viteze mici,puternic solicitate la încovoiere şi mediu la uzare se execută din oţeluri aliate pentru îmbunătăţire cu tenacitate mare şi duritate medie (23o-26o HB): 33MoCr11; 41MoCr11; 4oCr1o; 34MoCrNi15; 41CrNi12-STAS 791-8o.Se utilizează numai în stare îmbunătăţită.In acelaşi scop se pot utiliza oţeluri turnate: OT50; OT55-STAS 6oo-8o şi T35Mn14; T3oSiMn12; T35MoCrNio8-STAS 1773-8o.

Roţile dinţate care transmit turaţii mari la presiuni specifice relativ mari şi puteri mici,solicitate la uzare şi moderat la încovoiere prin şoc se execută din oţeluri carbon şi aliate de îmbu-

nătăţire semidure (25o-35o HB): OLC45; OLC50; 33MoCr11; 41MoCr11; 40Cr10.Se utilizează după călire şi revenire joasă.

Roţile dinţate care transmit puteri mari la viteze mari sînt puternic solicitate atît la uzare cît şi la oboseală prin încovoiere şi de contact.Ele se execută fie din oţeluri carbon şi aliate de îmbunătăţire călite superficial sau tratate termochimic prin nitrurare în gaz sau în plasmă: OLC45; 4oCr1o; 41MoCr11; 33MoCr11; 38MoCrAl09; 41CrNi12,fie din oţeluri aliate pentru cementare: 18MnCr10; 21MoMnCr12; 13CrNi30; 21TiMnCr12; 20MoNi35; 17CrNiMo6; 18CrNi20; 15Cr08; 18MoCrNi13; 28TiMnCr12.

8.2.4.1. Tratamente termice aplicate roţilor dinţate

Tratamentele termice primare aplicate semifabricatelor destinate fabricării roţilor dinţate,sînt în funcţie de natura materialului şi de modul de obţinere (prin laminare,forjare sau turnare):recoaceri de detensionare,recoaceri de înmuiere,normalizare şi îmbunătăţire.

Semifabricatele turnate din fontă cenuşie pentru roţi dinţate se supun în mod obligatoriu unei recoaceri de detensionare care constă în încălzirea acestora cu o viteză mică de 50°C/h pînă la 500-600°C,menţinere 2-3 ore,urmată de răcire lentă cu 3o-4o°C/h în cuptor pînă la 25o-3oo°C apoi în aer liber.Cînd semifabricatele au un strat albit se supun unei recoaceri de înmuiere,care constă în încălzirea pînă la 7oo-76o°C,menţinere o oră pentru fiecare 25 mm grosime,urmată de răcire în cuptor pînă la 3oo°C apoi în aer liber. Cementita şi ledeburita din structură se descompun în ferită şi grafit.

Semifabricatele turnate din oţeluri se supun,în vederea uniformizării şi finisării structurii,normalizării cu parametrii determinaţi în fiecare caz în parte funcţie de calitatea oţelului şi

dimensiunile semifabricatelor.Cînd duritatea după normalizare este mare,îngreunînd astfel aşchierea,semifabricatele se supun unei recoaceri subcritice de globulizare a perlitei.Incălzirea se face la 650-680°C,răcirea efectuîndu-se odată cu cuptorul.

Semifabricatele turnate din oţeluri aliate se supun unei recoaceri de omogenizare,care constau în încălzire şi menţinere la temperaturi cu 100-150°C peste A_{C3}.După omogenizare se aplică o normalizare pentru finisarea structurii.

Semifabricatele din oţeluri obţinute prin forjare liberă sau matriţare se supun normalizării,recoacerii complete sau unei îmbunătăţiri în funcţie de natura oţelurilor şi de destinaţia roţilor dinţate.

Tratamentele termice finale aplicate roţilor dinţate,au rolul de a asigura caracteristicile înalte de exploatare ale acestora.In funcţie de calitatea materialului,destinaţia roţilordinţate,utilajul existent,se pot aplica următoarele tratamente termice finale: îmbunătăţire,călire pătrunsă urmată de revenire joasă şi călire superficială urmată de revenire joasă.

Imbunătăţirea se aplică roţilor dinţate executate din oţeluri carbon şi aliate de îmbunătăţire,în scopul obţinerii unor proprietăţi de duritate şi tenacitate uniforme în toată secţiunea.

Călirea pătrunsă în vederea îmbunătăţirii se realizează prin încălzirea roţilor dinţate prelucrate prin aşchiere (danturare) la temperaturi cu 30-50°C peste punctul critic A_{C3},menţinere de 1,5-2 minute/1 mm grosime în funcţie de dimensiunile roţilor dinţate,urmată de răcire cu agitare în apă pentru roţi din oţeluri nealiate şi în ulei cald la 50-60°C pentru roţi din oţeluri aliate.Agitarea roţilor dinţate în mediul de răcire este necesară pentru a distruge pelicula de vapori ce se formează în golurile dintre dinţi.

Pentru coroane dinţate la care grosimea maximă este mai mică sau egală cu grosimea medie a dintelui, durata de încălzire şi menţinere se calculează în funcţie de modulul (m) coroanei cu relaţia:

$$t_m = (2,5 - 3)m \qquad [min] \qquad (8.1)$$

unde modulul m se ia în mm.

Incălzirea pentru călire se realizează în general în băi de săruri sau atmosfere controlate pentru a preveni decarburarea. Roţile dinţate sensibile la deformări se călesc în dispozitive speciale (prese).

Revenirea pentru îmbunătăţire este înaltă la temperaturi de 65o °C. Durata de revenire este de o oră pentru 25 mm grosime a peretelui pentru roţi dinţate, iar pentru coroane dinţate este de (4...5)m, unde m este modulul danturii în mm. Răcirea după revenire se face în aer pentru oţeluri nealiate şi în apă sau ulei pentru oţeluri aliate cu crom care sînt susceptibile la fragilitatea de revenire.

Cînd se utilizează ca mediu de răcire de la revenire apa (roţi dinţate cu module mare din oţeluri aliate cu crom) se aplică în final o detensionare la 4oo-45o °C.

Imbunătăţirea se aplică roţilor dinţate slab şi mediu solicitate mecanic.

Călirea pătrunsă urmată de o revenire joasă se aplică roţilor dinţate ce lucrează la turaţii ridicate şi la puteri medii executate din oţeluri nealiate şi aliate de îmbunătăţire.

Revenirea joasă se aplică imediat după călirea pătrunsă la temperaturi de 18o-22o °C şi asigură durităţi de 5o-55 HRC.

Călirea superficială a roţilor dinţate puternic solicitate mecanic folosite pentru transmiterea de viteze şi puteri mari, se aplică în scopul obţinerii unei durităţi superficiale mari (52-55 HRC) pe flancurile dinţilor şi a unei tenacităţi ridicate a miezu-

lui dinţilor şi a peretelui roţii dinţate din oţeluri carbon şi aliate de îmbunătăţire.Valoarea optimă a stratului călit este de (0,25 ...0,35)m,în care m este modulul danturii în mm.

Se utilizează în special călirea superficială cu inducţie, cînd frecvenţa optimă a curentului indus este de $(10^5...10^6)/m^2$Hz unde m este modulul danturii în mm.O frecvenţă mai mică determină creşterea grosimii de călire cu influenţă negativă asupra tenacităţii dintelui,iar o frecvenţă prea mare împiedică încălzirea şi călirea bazei dinţilor.Puterea specifică la generator este de 0,7...2,2 Kw/cm^2 în funcţie de diametrul roţii dinţate (puteri mari corespund diametrelor mici şi invers).

Forma inductorului depinde de modulul danturii roţilor ce se călesc.Astfel pentru roţi dinţate cu modulul mai mic de 6 mm se utilizează inductoare monospirale inelare ce înconjoară toată roata dinţată asigurînd încălzirea şi răcirea simultană a tuturor dinţilor.Distanţa dintre vîrful dinţilor şi inductor este de 2-4 mm.In acest caz se utilizează o frecvenţă joasă care asigură încălzirea întregii mase a dinţilor,iar prin răcirea ulterioară se căleşte doar pe o anumită adîncime,dantura.In acelaşi scop se poate utiliza încălzirea în două inductoare: iniţial în unul cu frecvenţă joasă pentru încălzirea fundului dinţilor şi apoi trecerea într-un inductor cu frecvenţă înaltă pentru încălzirea vîrfurilor dinţilor.

Pentru roţile dinţate cu modul mai mare decît 6 se utilizează inductoare care înconjoară dintele (călire dinte cu dinte) sau care pătrunde în golul dintre dinţi (călire gol cu gol).In acest caz se călesc individual şi succesiv toţi dinţii prin deplasarea inductorului pe fiecare dinte în parte.

Inductorul ce pătrunde în golul dintre dinţi se utilizează pentru roţi cu modul mare şi foarte mare.

După călirea superficială se aplică o revenire joasă la 18o-24o°C cu o menţinere de 1-2 ore în vederea detensionării.

8.2.4.2. Tratamente termochimice aplicate roţilor dinţate

Roţile dinţate puternic solicitate mecanic care transmit puteri şi turaţii mari din oţeluri nealiate sau aliate se supun unor tratamente termochimice de cementare,nitrurare în gaz,nitrurare ionică,cianizare şi carbonitrurare.

Cementarea se aplică roţilor dinţate din oţeluri de cementare aliate şi nealiate.Adîncimea de cementare asigurată prin parametrii tehnologici ai procesului depinde de modulul danturii,fiind cu atît mai mare cu cît modulul este mai mare,fig.255.Se poate utiliza cementarea în mediu solid în cutii de cementare sau prin acoperire cu paste de cementare şi în medii gazoase.Incălzirea pentru cementare se face la temperaturi de 91o-93o°C.Rezistenţa la oboseală de contact a flancului dintelui creşte cu adîncimea de cementare pînă la o,4-o,5 mm apoi scade.In fig.256 este arătată această variaţie pentru oţelul 18CrNi20.După cementare roţile dinţate se supun călirii şi revenirii joase prin unul din procedeele prezentate în Cap.3.2.Duritatea obţinută prin cementare are o influenţă deosebită asupra rezistenţei la oboseală a dinţilor,fig.257.

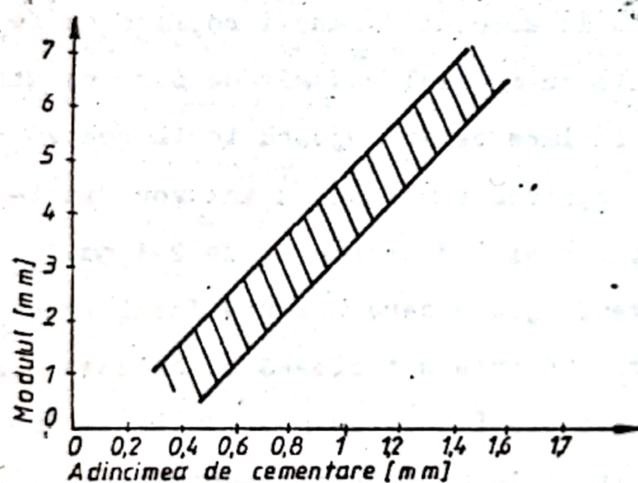


Fig.255.Relaţia dintre modulul roţilor dinţate şi adîncimea de cementare.

Cianizarea se aplică roţilor dinţate cu modulul mic.Constă în

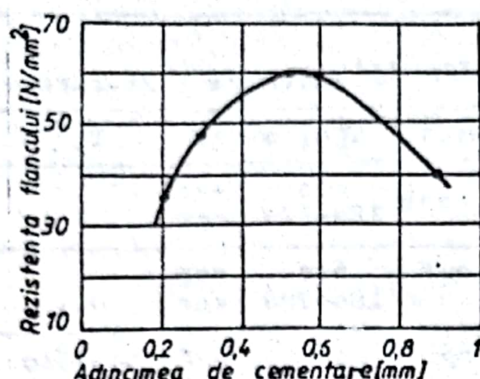


Fig.256.Variaţia rezistenţei la oboseală a flancului dintelui cu adîncimea de cementare pentru oţelul 18CrNi20.

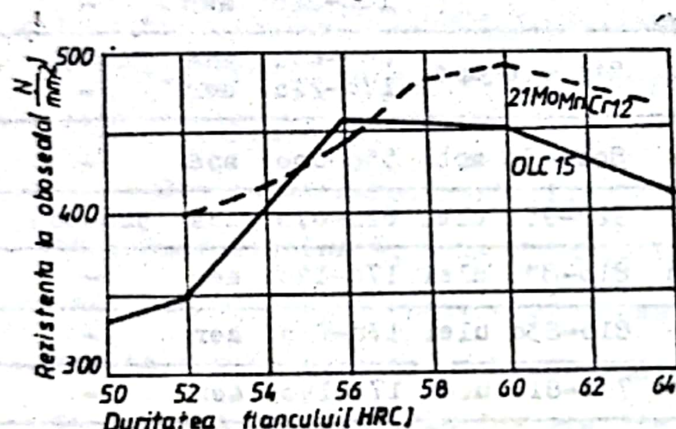


Fig.257.Variaţia rezistenţei la oboseală a flancului dintelui cu duritatea stratului cementat.

preîncălzire la 4oo-5oo°C,apoi încălzire finală la 86o-87o°C în băi de cianuri şi săruri neutre,menţinere de o,5-1 oră urmată de călire directă în ulei şi revenire joasă.Adîncimea de cianizare este o,2-o,4 mm.

Carbonitrurarea se aplică deasemeni roţilor dinţate de modul mic din oţeluri aliate. Constă în încălzirea lor la 82o-86o°C în medii gazoase (3-1o% NH_3 în CH_4 sau endogaz),menţinere de 2-4 ore,urmată de călire şi revenire joasă.Adîncimea stratului de difuzie este de o,7-o,8 mm.

Nitrurarea moale sau carbonitrurarea la temperaturi joase se aplică roţilor dinţate din oţeluri aliate de îmbunătăţire.Constă din încălzirea roţilor dinţate,îmbunătăţite şi rectificate în prealabil în băi de săruri topite,ce conţin cianuri şi cianaţi la temperaturi de 54o-56o° un timp de 1-3 ore.Duritatea obţinută după nitrurare este de 5oo-7oo HV.

Parametrii tehnologici de tratamente termice şi termochimice aplicate oţelurilor pentru roţi dinţate sînt daţi în tabelul 8.9.

Tabelul 8.9

Oţelul	Normalizare	Cementare	Călire		Revenire		Nitrurare
	T, [°C]	T, [°C]	T, [°C]	mediu	T, [°C]	mediu	T, [°C]
OLC 45	83o-85o	-	83o-85o	apă	65o 18o-22o	aer aer	-
OLC 50	82o-84o	-	82o-84o	apă	65o 18o-22o	aer aer	-
40Cr 10	84o-87o	-	82o-86o	apă	6oo-68o 18o-22o	apă aer	54o-56o -
41MoCr 11	85o-88o	-	84o-86o	apă	6oo-68o 18o-22o	apă aer	54o-56o -
34MoCrNi15	84o-87o	-	83o-86o	ulei	6oo-65o 18o-22o	apă aer	54o-56o -
33MoCr 11	85o-88o	-	84o-87o	apă	6oo-64o 17o-22o	apă aer	54o-56o -
41CrNi 12	82o-85o	-	8oo-83o	apă	55o-6oo	apă	-
38MoCrAl09	93o-96o	-	92o-95o	ulei	62o-67o	apă	52o-56o
21MoMnCr12	83o-86o	87o-89o	81o-83o	ulei	17o-19o	aer	-
18MnCr 10	86o-89o	87o-9oo	81o-83o	ulei	17o-21o	aer	-
13CrNi30	85o-88o	87o-89o	76o-81o	ulei	17o-19o	aer	-
21TiMnCr12	9oo-92o	89o-91o	875-91o	ulei	17o-19o	aer	-
20MONi 35	86o-89o	88o-9oo	73o-76o	ulei	17o-19o	aer	-
17CrNiMo 6	845-9oo	9oo-91o	84o-86o	ulei	15o-18o	aer	-
18CrNi 20	85o-88o	87o-89o	76o-8oo	ulei	17o-2oo	aer	-
15Cr 08	87o-9oo	89o-91o	77o-82o	apă	15o-18o	aer	-
18MoCrNi13	86o-89o	88o-9oo	8oo-82o	ulei	17o-19o	aer	-
28TiMnCr12	9oo-92o	89o-91o	86o-89o	ulei	17o-19o	aer	-
T35Mn 14	85o-88o	-	835-865	ulei	58o-68o	aer	-
T30SiMn12	87o-89o	-	87o-9oo	apă	57o-6oo	aer	-
T35MoCrNi08	85o-87o	-	86o-89o	apă	64o-68o	aer	-
OT 50 OT 55	83o-89o 83o-85o	- -	83o-85o 82o-84o	apă apă	57o-62o 55o-65o	aer aer	- -

8.2.5. Tratamente termice şi termochimice aplicate arborilor cotiţi

Arborii cotiţi sînt organe de maşini care transformă mişcarea rectilinie alternativă în mişcare de rotaţie.In exploatare ei sînt puternic solicitaţi la oboseală,la şocuri,la încovoiere,la torsiune şi la uzare.

Arborii cotiţi,în funcţie de valoarea solicitărilor la care sînt supuşi şi de dimensiunile lor,se execută din oţeluri carbon şi aliate de îmbunătăţire: OLC45; 40Cr10; 41MoCr11; 34MoCrNi15;35Mn16; 38MoCrAl09; 41CrNi12; 33MoCr11; 30MoCrNi20,din oţeluri aliate pentru cementare: 13CrNi30,oţeluri speciale turnate aliate cu cupru autocălibile (1,35-1,6%C; o,6-o,8%Mn; o,85-1,1%Si; o,4-o,5%Cr; 1,5-2%Cu),fontă cu grafit nodular perlitică: Fgn 45o-5; Fgn5oo-7; Fgn6oo-2; Fgn7oo-2.

Obţinerea formei arborilor cotiţi se face prin aşchiere din bare laminate (rar), prin forjare liberă sau matriţare cu fibraj continuu şi prin turnare cînd consumul de metal şi de manoperă se reduce foarte mult (pînă la 80%).Arborii cotiţi cu dimensiuni foarte mari se execută prin forjare din bucăţi asamblate ulterior prin presare.Arborii cotiţi de dimensiuni mici şi medii din industria de autovehicole,în ultimul timp,se execută din fontă cu grafit nodular,care pe lîngă caracteristici mecanice de rezistenţă la rupere, au proprietăţi ridicate de rezistenţă la uzare şi amortizează vibraţiile.

Tratamentele termice primare şi secundare (finale) aplicate arborilor cotiţi sînt funcţie de natura materialului din care se execută,de formă şi dimensiunile acestora.

Tratamentele termice primare au rolul de a asigura semifabricatelor forjate,matriţate sau turnate,omogenizarea şi finisarea struc-

turii, detensionarea, ameliorarea prelucrabilităţii prin aşchiere şi pregătirea structurii în vederea tratamentelor termice finale.

Astfel, semifabricatele din oţeluri obţinute prin forjare liberă sau matriţare se supun unei normalizări pentru eliminarea efectului supraîncălzirii urmate de o recoacere subcritică de globulizare în vederea micşorării durităţii şi îmbunătăţirii prelucrabilităţii prin aşchiere. Structura obţinută în urma acestui tratament termic primar, formată din ferită şi perlită globulară, asigură o susceptibilitate redusă la supraîncălzire în timpul tratamentului termic final.

Normalizarea semifabricatelor forjate sau matriţate din oţeluri carbon utilizate pentru arbori cotiţi constă din încălzire la 850-860°C în cuptoare verticale urmată de răcire în aer liber. Aceste semifabricate nu se supun recoacerii subcritice de globulizare.

Semifabricatele forjate sau matriţate din oţeluri aliate de îmbunătăţire, se normalizează prin încălzire la 830-880°C, cu răcire în aer şi se supun întotdeauna unei recoaceri subcritice de globulizare care constă din încălzire la 680-720°C urmat. de răcire odată cu cuptorul pînă la 450°C apoi în aer liber. Graficul de tratament termic primar aplicat semifabricatelor forjate liber din oţel 41MoCr11, este dat în fig.258.

Semifabricatele din oţel turnat în funcţie de importanţa arborilor cotiţi se supun unei recoaceri de omogenizare, urmată de normalizare şi eventual de o recoacere subcritică de globulizare.

Semifabricatele turnate din fontă cu grafit nodular se supun unei recoaceri subcritice care asigură, printr-o încălzire lentă cu maxim 80°C/h pînă la 500-550°C, menţinere 2-6 ore urmată de răcire în cuptor pînă la 200-300°C apoi în aer (fig.259), atît ameliorarea prelucrabilităţii cît şi detensionarea.

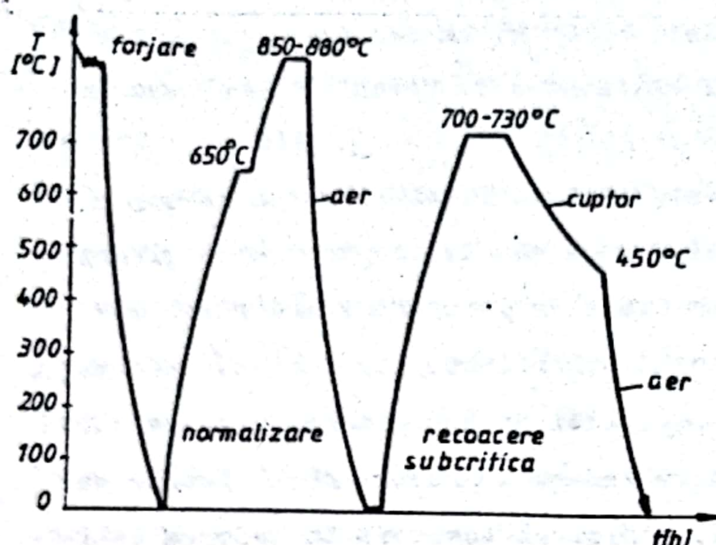


Fig.258.Tratamentul termic primar al unui semifabricat forjat de arbore cotit din oţel 41MoCr 11.

Tratamentele termice finale aplicate arborilor cotiţi au o importanţă deosebită, deoarece ele asigură proprietăţile mecanice ridicate necesare arborilor cotiţi în exploatare.Tratamentele termice finale aplicate arborilor cotiţi după prelucrarea prin aşchiere (strunjire) sînt în funcţie de natura materialului,de forma şi dimensiunile arborilor cotiţi.Astfel,arborii cotiţi se tratează termic final în profunzime prin călire urmată de revenire înaltă sau prin călire superficială şi revenire joasă.
Deasemeni arborii cotiţi se pot supune cementării sau nitrurării.

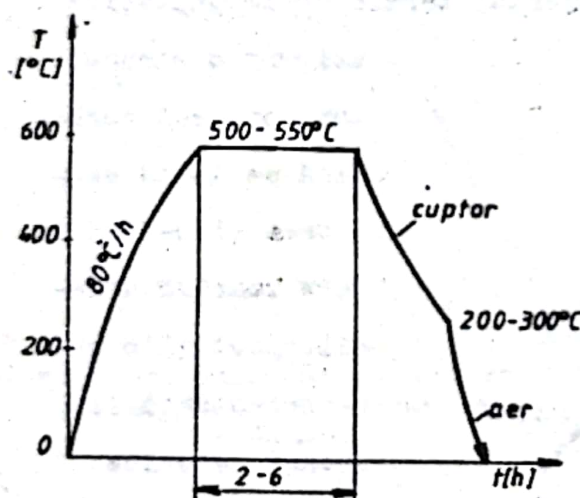


Fig.259.Tratamentul termic primar al unui semifabricat turnat de arbore cotit din fontă cu grafit nodular.

Călirea martensitică pătrunsă, în vederea îmbunătăţirii,se realizează prin încălzire cu 3o-4o°C peste punctul critic A_{C3} al oţelului şi răcire în ulei.Incălzirea în vederea călirii se face cu o treaptă de preîncălzire la 65o°C.Revenirea înaltă se execută la temperaturi de peste 6oo°C,iar răcirea se face în apă,ulei sau aer în funcţie de susceptibilitatea oţelurilor la fragilitatea de

revenire.Astfel,oţelurile aliate cu Cr şi Mn sau numai cu Cr care sînt foarte susceptibile la fragilitatea de revenire se răcesc în ulei sau apă.

Deformaţiile la tratamentul termic final se reduc la minim utilizînd încălzirea cu viteză redusă sau în trepte precum şi prin utilizarea unor dispozitive speciale de prindere a arborilor în timpul încălzirii şi răcirii.Cînd arborii cotiţi prezintă deformaţii după călire,aceştia se supun operaţiei de îndreptare în stare caldă în timpul răcirii de la revenire.Pentru a preveni decarburarea superficială a arborilor cotiţi,încălzirea acestora în vederea călirii pătrunse,se realizează în atmosfere controlate.Graficul de tratament termic final de îmbunătăţire a unui arbore cotit din oţel aliat 35Mn16 este dat în fig.26o.Tratamentul termic de îmbunătăţire asigură o structură omogenă sorbitică pe toată secţiunea (18o-25oHB) care imprimă arborilor cotiţi o bună rezistenţă la şocuri mecanice.

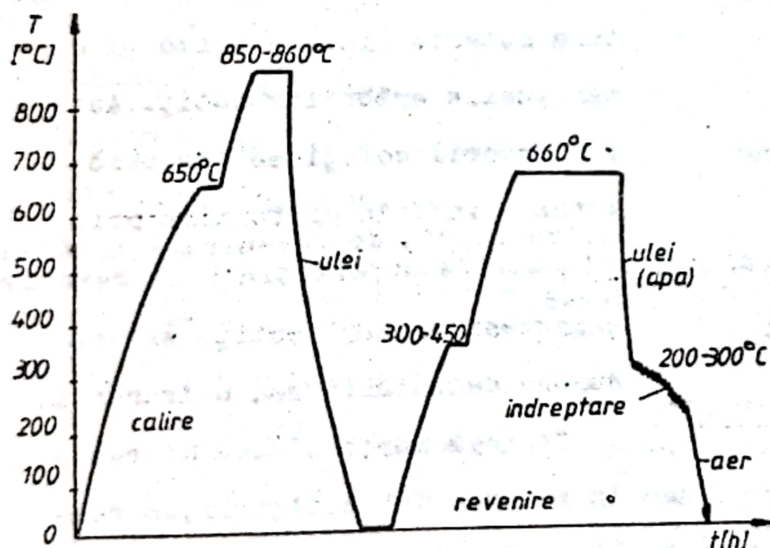


Fig.26o.Graficul de tratament termic final aplicat unui arbore cotit din oţel aliat 35Mn16

Arborii cotiţi de dimensiuni medii şi mari supuşi unor solicitări puternice de oboseală şi uzare se supun unei căliri superficiale la temperaturi de 89o-93o°C urmate de o revenire joasă sau unui tratament termochimic.Se supun călirii superficiale doar fusurilor arborilor cotiţi care sînt puternic solicitate la uzare.Se aplică meto-

de de călire superficială simultană prin inducţie sau cu flacără.

La călirea superficială prin inducţie se utilizează inductori inelari monospirali cu o lăţime puţin mai mică decît lungimea fusului alimentaţi cu o frecvenţă de 3ooo Hz.Tehnologia constă din încălzirea fusului un timp de 5-1o secunde,iar după o pauză de 1...5 secunde necesară uniformizării temperaturii se realizează răcirea cu jeturi de apă la 4-5 atmosfere prin intermediul inductorului. Grosimea stratului călit este de 3...7 mm în funcţie de dimensiunile arborilor cotiţi,iar duritatea după călire este de 56-58 HRC repartizată pe adîncimea de călire ca în fig.261.Pentru a nu fi afectată rezistenţa la oboseală la racordarea fusurilor cu braţele arborelui cotit,se lasă o porţiune de 7-8 mm,la capetele fiecărui fus,necălită.Acest lucru este posibil utilizînd un inductor cu o lăţime mai mică decît lungimea fusului,fig.262.In cadrul producţiei de masă,se folosesc maşini automate speciale de călire superficială prin inducţie simultană a tuturor fusurilor,paliere şi manetoane.In lipsa instalaţiilor scumpe de călire prin inducţie se poate utiliza călirea superficială cu flacără, în special

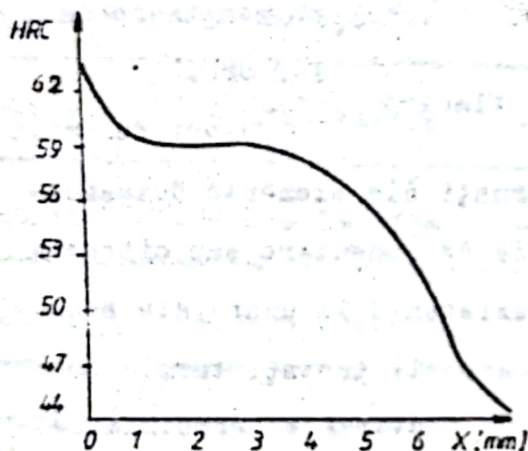


Fig.261.Variaţia durităţii pe adîncimea stratului călit superficial al fusurilor arborilor cotiţi.

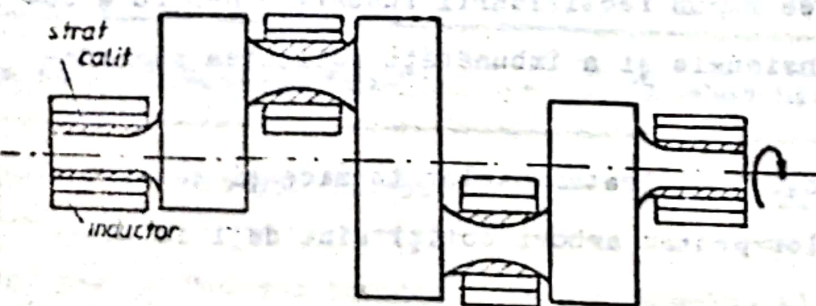


Fig.262.Forma stratului călit superficial al arborilor cotiţi.

pentru arborii cu dimensiuni mari,cînd fusul se roteşte cu viteza de 15o-2oo mm/min în faţa unui arzător semiinelar cu o lăţime mai mică decît lungimea fusului,care după încălzire se retrage permiţînd aducerea unui răcitor cu duş deasemeni de formă semiinelară,fig.263.După călirea superficială se aplică întotdeauna o revenire joasă în scopul detensionării la 18o-22o°C cu menţinere de 1-2 ore.

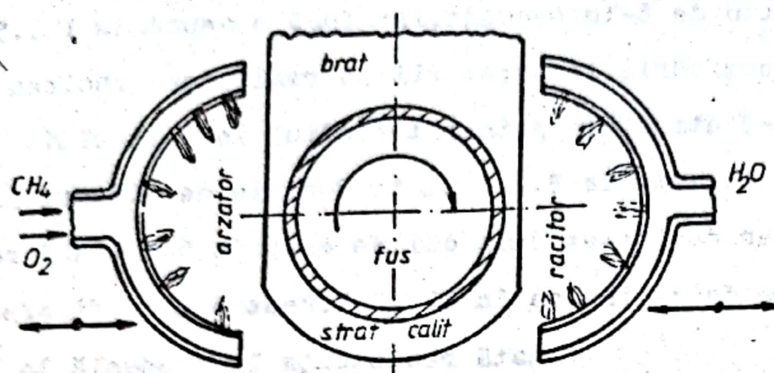


Fig.263.Schema călirii superficiale cu flacără a fusurilor arborilor cotiţi.

Uneori fusurile arborilor cotiţi cu dimensiuni mari formaţi din elemente detaşabile se supun unor tratamente termochimice de cementare sau nitrurare.Proprietăţile de tenacitate şi de rezistenţă la uzare ale acestor arbori sînt mult mai mari decît la arborii tratati termic superficial sau în profunzime Regimurile de tratamente termochimice sînt aceleaşi ca şi în cazul arborilor drepţi.

Deformaţiile arborilor cotiţi sînt mai mari în cazul cementării decît al tratamentelor termice.Intotdeauna,după tratamentele termice,arborii cotiţi se supun rectificării fusurilor pentru a corecta modificările dimensionale şi a îmbunătăţi calitatea suprafeţelor.

Parametrii tehnologici ai tratamentelor termice şi termochimice aplicate materialelor pentru arbori cotiţi sînt daţi în tabelul 8.1o.

8.2.6.Tratamente termice şi termochimice aplicate axelor cu came

Axele cu came sau arborii de distribuţie sînt organe ale

Tabelul 8.1o

Materialul	Normalizare T[°C]	Recoacere T[°C]	Cementare T[°C]	Călire T[°C]	Călire mediu	Revenire T[°C]	Revenire mediu	Nitrurare T[°C]
OLC45	83o-85o	68o-7oo	-	83o-85o	apă	6oo-65o	aer	-
4oCr1o	84o-87o	68o-72o	-	83o-86o	ulei	6oo-65o	ulei	52o-56o
41MoCr11	85o-88o	7oo-73o	-	82o-85o	ulei	58o-64o	ulei	52o-56o
34MoCrNi15	84o-88o	65o-7oo	-	83o-86o	ulei	58o-63o	ulei	-
35Mn16	85o-88o	68o-72o	-	85o-86o	ulei	66o	ulei	-
41CrNi12	84o-87o	68o-72o	-	8oo-83o	ulei	58o-65o	ulei	-
33MoCr11	85o-88o	7oo-73o	-	82o-85o	ulei	6oo-65o	ulei	54o-56o
3oMoCrNi2o	84o-87o	65o-7oo	-	83o-86o	ulei	64o-68o	aer	-
38MoCrAlo9	93o-96o	71o-74o	-	92o-95o	ulei	62o-65o	ulei	52o-56o
13CrNi3o	85o-87o	68o-72o	9oo-93o	85o-87o	ulei	18o-19o	aer	-
Fgn 45o-5	9oo-95o	5oo-55o	-	83o-9oo	ulei	6oo	aer	-
Fgn 5oo-7	9oo-95o	5oo-55o	-	88o-9oo	ulei	6oo	aer	-
Fgn 6oo-2	9oo-95o	5oo-55o	-	88o-9oo	ulei	6oo	aer	-
Fgn7oo-2	9oo-95o	5oo-55o	-	88o-9oo	ulei	6oo	aer	-

motoarelor cu ardere internă,maşinilor unelte compresoare,etc.care transformă mişcarea de rotaţie în mişcare de translaţie alternativă acţionînd astfel diverse mecanisme.

Sînt organe de maşini solicitate mediu la încovoiere,torsiune şi şoc mecanic şi solicitate puternic la uzare şi oboseală.

Axele cu came se execută din materiale metalice,oţeluri şi fonte care au o tenacitate ridicată şi o bună rezistenţă la uzare după tratamentul termic final.Astfel se folosesc oţeluri carbon şi aliate de cementare: OLC10; OLC15; OLC20; OLC25; 15Cr08; 13CrNi30 ; 18MnCr10,oţeluri de îmbunătăţire: OLC45; 40Cr10; 35Mn16; 33MoCr11; 41MoCr11,fonte cu grafit lamelar fin Fc 25o; Fc3oo şi fonte cu grafit nodular Fgn 450-5.

Tratamentele termice primare se aplică semifabricatelor forjate,matriţate sau turnate în aceleaşi scopuri ca şi în cazul arborilor cotiţi: finisarea structurii,ameliorarea prelucrabilităţii prin aşchiere,detensionarea şi asigurarea obţinerii unor proprietăţi mecanice ridicate şi uniforme după tratamentul termic final.

Normalizarea şi recoacerea subcritică de globulizare a semifabricatelor forjate şi matriţate din oţeluri se aplică în acelaşi mod ca şi pentru semifabricatele pentru arbori cotiţi.

Recoacerea de detensionare a semifabricatelor axelor cu came din fontă constă în încălzirea la 55o-6oo°C,menţinere o,5...1 oră pentru fiecare 25 mm din diametrul lor urmată de răcire lentă cu cuptorul.Temperatura ridicată pentru recoacerea de detensionare asigură şi eliminarea eventualelor zone de cementită liberă prin grafitizare.

Tratamentele termice şi termochimice finale urmăresc creşterea caracteristicilor mecanice ale miezului şi suprafeţelor supuse frecării (came şi fusuri).In general axele cu came se călesc super-

ficial prin inducţie sau cu flacără apoi se revin jos.Deasemeni se supun tratamentelor termochimice de cementare şi nitrurare.

Călirea superficială a fusurilor şi camelor prin inducţie se face simultan cu inductoare inelare la o frecvenţă de 2...1oKHz pe o adîncime de 2...5 mm.Intrucît inductoarele utilizate în mod curent sînt inelare,distanţa dintre camă şi inductor nefiind constantă,vîrful camelor se călesc pe o adîncime mai mare,fig.264.

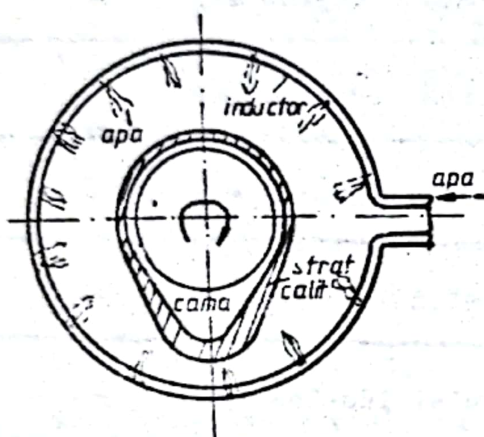


Fig.264.Schema călirii superficiale prin inducţie a unei came.

După călirea superficială de la temperaturi cuprinse între 88o-92o°C se aplică o revenire joasă la 15o-18o°C,un timp de cca 2 ore,în vederea detensionării.Duritatea minimă obţinută după un astfel de tratament termic final este de 58-6o HRC.

Pentru axe cu came puternic solicitate la oboseală se aplică un tr.- tr. intermediar între tr. tr. primar şi călirea superficială sub forma unei îmbunătăţiri care asigură o tenacitate mare a miezului.

Cementarea este frecvent aplicată axelor cu came pe suprafeţele active (selectivă).

Se aplică cementarea în mediu gazos cînd axele,aşezate în dispozitive speciale pentru a preveni deformarea,se încălzesc la 9oo-93o°C în mediu activ,un timp de 16-18 ore pentru a obţine un strat cementat de 1,5-2 mm cu răcire în aer liber.După cementarea selectivă a fusurilor şi camelor,axele cu came se călesc prin încălzire în prese speciale,la 86o-9oo°C,un timp de 4o...6o minute, apoi se răcesc în ulei sau apă cu tot cu presele respective.Călirea este continuată cu o revenire joasă la 2oo°C cu menţinere de

Tabelul 8.11

Materialul	Normalizare T[°C]	Recoacere T[°C]	Cementare T[°C]	Călire T[°C]	Călire mediu	Revenire T[°C]	Revenire mediu	Nitrurare T[°C]
OLC1o	88o-9oo	-	9oo-93o	88o-92o	apă	18o-2oo	aer	-
OLC15	88o-9oo	-	9oo-93o	88o-9oo	apă	18o-2oo	aer	-
OLC2o	87o-89o	-	9oo-93o	87o-89o	apă	18o-2oo	aer	-
OLC25	87o-89o	-	9oo-93o	86o-88o	apă	18o-2oo	aer	-
15Cro8	87o-9oo	69o-72o	9oo-93o	86o-88o	ulei	16o-2oo	aer	-
13CrNi3o	85o-87o	68o-72o	9oo-93o	85o-87o	ulei	17o-2oo	aer	-
18MnCr1o	86o-89o	87o-9oo	87o-9oo	86o-89o	ulei	16o-2oo	aer	-
OLC45	83o-85o	68o-7oo	-	călire superficială 88o-91o	apă	16 -18o	aer	-
4oCr1o	84o-87o	68o-72o	-	călire superficială 89o-92o	apă	15o-18o	aer	52o-56o
35Mn16	85o-88o	68o-72o	-	călire superficială 89o-92o	apă	15o-18o	aer	-
33MoCr11	85o-88o	7oo-73o	-	călire superficială 89o-92o	apă	15o-18o	aer	54o-56o
41MoCr11	85o-88o	68o-72o	-	călire superficială 89o-92o	apă	15o-18o	aer	52o-56o
Fc25o	85o-95o	55o-6oo	-	85o-89o	ulei	6oo	aer	5oo-58o
Fc3oo	85o-95o	55o-6oo	-	85o-89o	ulei	6oo	aer	5oo-58o
Fgn45o-5	85o-95o	55o-6oo	-	85o-89o	ulei	6oo	aer	5oo-58o

2 ore şi răcire în aer,asigurîndu-se o duritate de 58-64 HRC.

Cînd axele cu came tratate fără dispozitive speciale s-au deformat la tratamentul termic final,se supun operaţiei de îndreptare pe prese.

După tratamentul termic final urmează rectificarea suprafeţelor active ale axelor cu came.

Parametrii tehnologici de tratament termic şi termochimic aplicat materialelor pentru axe cu came sînt daţi în tabelul 8.11.

8.2.7. Tratamente termice aplicate batiurilor

Batiurile sînt organe de maşini,masive,rigide,cu formă complexă ce fixează structura maşinilor unelte,puternic solicitate la vibraţii,la încovoiere,la uzare şi oboseală.

Materialele din care se execută batiurile precum şi tratamentele termice şi termochimice aplicate trebuie să asigure acestor organe proprietăţi ridicate de rezistenţă la şocuri,la uzare şi o capacitate ridicată de amortizare a vibraţiilor.Batiurile se execută,în special,din fonte cenuşii Fc 2oo; Fc 25o şi Fc 3oo prin turnare.Deasemeni,în ultimul timp,batiurile se execută prin sudare din oţeluri aliate.

Tratamentele termice primare aplicate atît batiurilor turnate din fontă cenuşie cît şi celor sudate din oţeluri constau din detensionări,care pe lîngă eliminarea tensiunilor interne determină creşterea stabilităţii dimensiunilor şi formei batiurilor.Detensionarea batiurilor după turnare sau sudare se impune cu necesitate deoarece contracţiile diferite ale diverselor porţiuni în timpul răcirii introduc tensiuni interne de valori mari care pot duce la deformaţii elastice,plastice şi chiar la fisuri.Batiurile turnate din fontă cenuşie se detensionează fie natural,fie artificial prin încălzire sau vibrare.

Detensionarea naturală constă în menţinerea batiurilor după turnare un timp de 1/2-1 an în atmosferă liberă, cînd tensiunile se reduc cu 15-25%.

Efecte economice mult mai bune se obţin dacă imediat după turnare batiurile se degroşează prin aşchiere. In caz contrar, se impune ca şi după operaţia de aşchiere (frezare) de degroşare batiurile să se supună detensionării fapt ce micşorează productivitatea muncii. Detensionarea naturală, elimină doar parţial tensiunile interne, motiv pentru care în ultimul timp, se aplică foarte rar.

Detensionarea artificială prin încălzire, este o metodă foarte răspîndită ce prezintă o eficienţă tehnologică mult mai ridicată (tensiunile se elimină aproape complet, iar stabilitatea formei şi dimensiunilor în timp este foarte mare). Constă din încălzirea batiurilor după operaţia de turnare sau aşchiere de degroşare, cu o viteză foarte mică (4o...5o°C/h) pînă la temperaturi de 5oo-55o°C, menţinere cca o oră pentru fiecare 25 mm din grosimea maximă a batiurilor, urmată de o răcire cu viteză foarte redusă (3o-4o°C/h) odată cu cuptorul pînă la 15o-3oo°C, apoi în aer liniştit, fig.265.

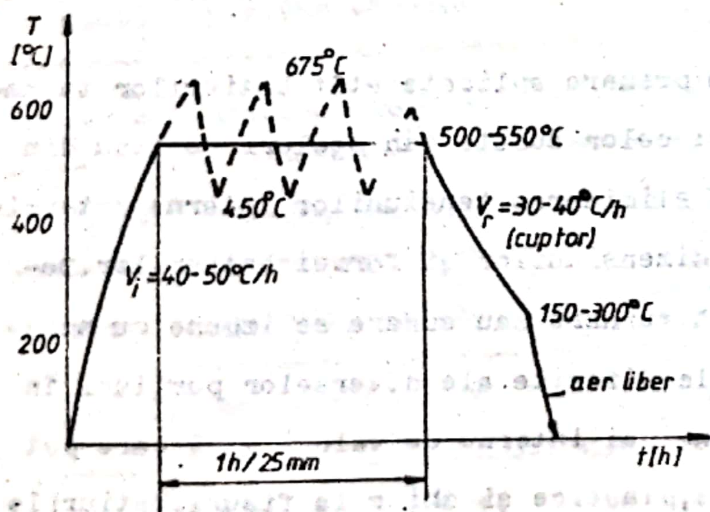


Fig.265. Graficul recoacerii de detensionare al batiurilor din fontă.

Respectarea parametrilor tehnologici ai regimului de detensionare artificală se impune cu rigurozitate pentru a asigura eliminarea tensiunilor interne şi a evita riscul grafitizării fontei.

Batiurile cu dimen-



siuni mari şi forme deosebit de complexe ale maşinilor unelte de mare precizie,care trebuie să posede o stabilitate ridicată a formei şi dimensiunilor în timp,se pot detensiona printr-o pendulare ciclică între 45o-675°C un timp de 2-5 ore cu încălziri şi răciri lente (linia punctată din fig.265).

In procesul de detensionare artificală prin încălzire a batiurilor rol preponderent în eliminarea tensiunilor interne îl are temperatura de încălzire.Legătura dintre temperatura de încălzire pentru detensionare (T) şi timpul de menţinere la această temperatură (t) este dată prin parametrul Hollomon (P):

$$P_{HJ} = T(2o + lgt).lo^{-3} \quad (8.2)$$

. Gradul de detensionare,adică raportul dintre tensiunile interne reziduale σ_{rez} şi tensiunile interne iniţiale σ_{in},în procente,este o funcţie liniară de parametrul Hollomon,fig.266.

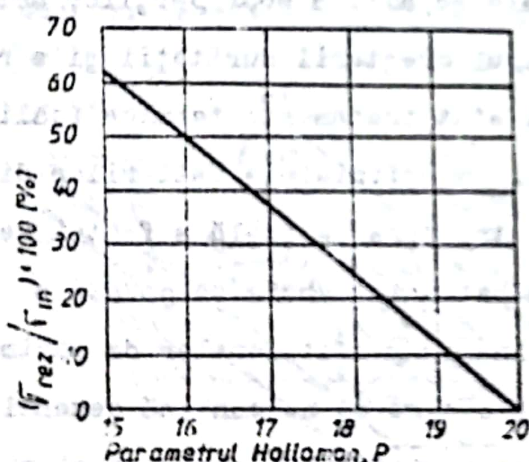


Fig.266. Variaţia gradului de detensionare cu parametrul Hollomon

Prin încălzire la 5oo°C în prima oră de menţinere se elimină cca 25% din tensiunile iniţiale iar după lo ore cca 40%,iar ridicînd temperatura la 6oo°C în aceleaşi perioade se elimină 65% respectiv 7o%.

Detensionarea artificială a batiurilor prin vibrare mecanică sau cu ultrasunete reprezintă un procedeu nou,modern şi foarte productiv,care pe lîngă faptul că realizează o bună detensionare,determină şi creşterea rezistenţei la rupere a fontei.

Frecvenţa vibraţiilor utilizate trebuie să fie de minim

3000 vibrații/min.Timpul de detensionare în acest caz se reduce la cca 2-4 ore în funcție de mărimea batiurilor.

Batiurile realizate din construcții sudate din oțel se supun detensionării artificiale prin încălzire.Incălzirea se face cu viteză redusă pînă la 600-680^{o}C un timp de 2-4 minute pentru fiecare mm din grosimea batiului,urmată de răcire lentă cu cuptorul pînă la 200-300^{o}C,apoi în aer liber.

Batiurile pretențioase sudate se supun înainte de detensionare unei încălziri a cusăturilor sudate în vederea uniformizării structurii.

Cînd în urma operației de așchiere de degroșare în batiurile din construcții sudate se introduc tensiuni interne,acestea se supun din nou unei detensionări artificiale.

Tratamentele termice finale se aplică doar părților active ale batiurilor (ghidaje),în scopul creșterii durității și a rezistenței la uzare a acestora,deci sînt tratamente termice (căliri) superficiale.Rezultatele călirii superficiale a batiurilor din fontă depind în mare măsură de structura inițială a fontei cenușii.Astfel,fonta cenușie pentru batiuri trebuie să posede o structură formată din perlită fină cu grafit lamelar de mărime medie și steadită în cantitate medie care să nu conțină cementită liberă.Prezența cementitei libere,a grafitului grosolan și a eutecticului fosforos (steadita) în cantitate mare - fragilizează fonta și constituie amorse de fisuri la călirea superficială.

Călirea superficială se aplică după operațiile de așchiere de finisare și se face fie prin inducție fie cu flacără.

Călirea superficială a ghidajelor batiurilor prin inducție este o călire succesivă prin care inductorul deschis și răcitorul se deplasează în lungul suprafețelor ghidajelor,fig.267.Se utili-

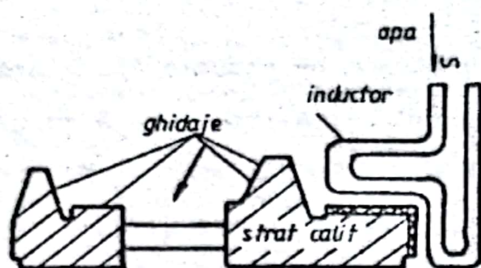


Fig.267.Schema călirii superficiale succesive prin inducţie a ghidajelor batiurilor.

zează un curent de frecvenţă medie sau înaltă (2000-8000 Hz) dat de un generator de putere minimă de 30 KW.Astfel se obţin adîncimi ale stratului călit de 1,5-3 mm.

Călirea superficială cu flacără se utilizează în special pentru batiuri cu dimensiuni mari.Se foloseşte în varianta călire superficială succesivă,cînd arzătorul de formă adecvată formei ghidajelor,urmat la mică distanţă (20-25 mm) de răcitorul cu jet de apă se deplasează cu o viteză de 100-150 mm/min în lungul batiului,realizînd călirea superficială a straturilor pe o adîncime de 3-6 mm,fig.268.

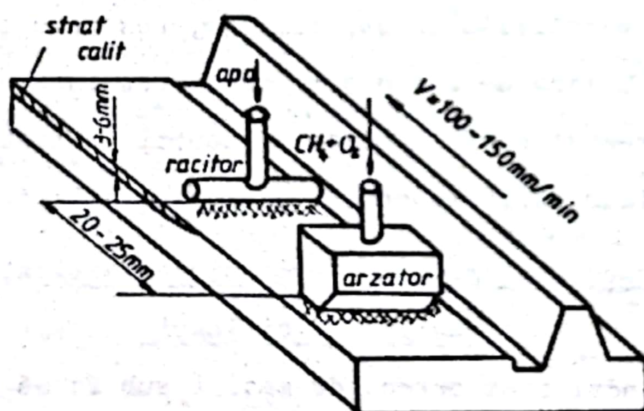


Fig.268.Schema călirii superficiale cu flacără succesivă a ghidajelor batiurilor mari.

Prin călire superficială duritatea superficială a ghidajelor batiurilor din fontă cenuşie creşte cu cca 300 HB faţă de duritatea fontei după recoacerea de detensionare.

In ultimul timp ghidajele batiurilor se placheează cu mase plastice foarte rezistente la uzare.

8.2.8. Tratamentele termice aplicate segmenţilor pentru pistoane

Segmenţii sînt organe de maşini care asigură etanşietatea

sau ungerea dintre pistoane şi cămăşile de cilindri la motoarele cu ardere internă.

In general segmenţii de pistoane se execută din fontă austenitică şi refractară aliată cu Ni,Cr,Si,Al modificată cu grafitul acicular fin (FNiSiCr20.5.3;FaINiCr203;FrCr30; FrSi5etc.)

Sînt organe de maşini solicitate la uzare şi care trebuie să posede o elasticitate ridicată şi constantă în timp şi la temperaturi mari.Elasticitatea segmenţilor se realizează şi se stabilizează printr-un tratament termic denumit termofixarea sau termostabilizarea segmenţilor pentru pistoane.

Segmenţii după strunjire şi tăiere în lungul unei generatoare se trag pe un dorn (ţeavă) cu un diametru mai mare pentru a realiza o deschidere de 2-3 mm.In această stare segmenţii sînt tensionaţi mecanic,stare care se elimină printr-o încălzire pe dorn la 600-650°C un timp de 45 minute după care urmează o răcire lentă.Pentru a stabiliza elasticitatea segmenţilor,aceştia ulterior se reîncălzesc la 400°C timp de 2-4 ore şi se răcesc în aer.Uneori,pentru creşterea rezistenţei la uzare,segmenţii se tratează termochimic prin cromizare,silicizare şi în special prin sulfizare.

8.2.9. Tratamente termice şi termochimice aplicate cămăşilor de cilindri

Cămăşile de cilindri sînt organe de maşini sub formă de bucşe solicitate puternic la uzare,coroziune,temperatură înaltă şi şocuri termice ce intră în componenţa motoarelor cu ardere internă,a compresoarelor,etc.

Se execută din fontă cenuşie nealiată modificată cu grafitul lamelar fin (Fc250; Fc300; Fc350),din fontă antifricţiune aliată cu crom şi molibden cu grafit lamelar fin (FcA1; FcA2; FcA3) sau din oţeluri pentru nitrurare (38MoCrA109).

Tratamentele termice primare se aplică cămăşilor din fontă imediat după turnare sau după turnare şi o primă degroşare prin strunjire şi constau dintr-o recoacere de detensionare cu încălzire la 550-600°C, menţinere 2-4 ore urmată de răcire lentă cu cuptorul.

Cămăşile din oţel nu se tratează termic primar deoarece se folosesc semifabricate laminate care sînt livrate în stare normalizată.

Tratamentele termice secundare se aplică cămăşilor de cilindri după prelucrarea prin aşchiere fină şi înainte de rectificare şi superfinisare, în scopul creşterii durităţii şi rezistenţei la uzare a suprafeţei active (cilindrice interioare). Se aplică căliri pătrunse urmate de revenire joasă, căliri superficiale a suprafeţei interioare urmate de reveniri joase sau tratamente termochimice de nitrurare.

Călirea pătrunsă se aplică atît cămăşilor din fontă cît şi din oţel. Cămăşile din fontă se încălzesc la 850-890°C, se menţin în funcţie de grosimea pereţilor şi apoi se răcesc în ulei. Cămăşile de cilindru cu dimensiuni mari şi cu pereţi subţiri se călesc în prese speciale pentru a se preveni deformarea. Presele utilizate asigură strîngerea cămăşilor atît pe direcţie radială cît şi axială. Revenirea joasă se face la 180-200°C urmată de răcire în aer liber şi asigură o duritate de minim 45-50 HRC.

Călirea superficială a suprafeţei cilindrice interioare se face prin inducţie folosind un inductor fix monospiral cu un diametru exterior puţin mai mic decît diametrul cămăşii de cilindru ce urmează a fi călită şi care intră în interiorul cămăşii de cilindru. Se utilizează frecvenţe de 2000-8000 Hz ce asigură o adîncime de călire de 1,5-2,5 mm. Răcirea se execută cu un răcitor fix

cu apă amplasat imediat după inductor în interiorul cămășii de cilindru care execută o mișcare de avans axial și una de rotație.

Revenirea joasă după călirea superficială se aplică la 2oo °C în scopul detensionării.

Nitrurarea se aplică în special cămășilor de cilindri executate din oțeluri pentru nitrurare aliate cu Cr,Mo și Al,după un tratament prealabil de îmbunătățire (călire în apă caldă de la 920-930°C,urmată de revenire la 62o - 65o°C).Nitrurarea se face prin încălzire într-un mediu de amoniac la 52o-560°C,menținere și răcire în același mediu pînă la 200°C,apoi în aer liber.

Se obține un strat nitrurat de cca. o,5 ... o,7 mm.Nitrurarea este selectivă (doar a suprafeței interioare);în acest scop suprafața exterioară se protejează cu un strat subțire (1 mm) de sticlă solubilă uscat la 15o°C timp de 1,5 ore.

Prin nitrurare crește atît rezistența la uzare cît și rezistența la coroziune.Uneori nitrurarea se aplică și cămășilor de cilindri executate din fontă aliată cu Cr,Mo și Al.

8.2.1o. Tratamente termice aplicate cusăturilor sudate

Cusăturile sudate (în special cele prin topire cu arc electric) sînt porțiuni din organe de mașini cu o structură și stare tensională eterogenă.Astfel,zona materialului de adaos (ZMA) prezintă după sudare o structură dendritică grosolană specifică de solidificare,iar compoziția chimică este diferită de cea a materialului de bază.Zona de trecere (ZT) de la materialul de adaos la materialul de bază este caracterizată printr-o structură de supraîncălzire și are o compoziție chimică eterogenă.Zona influențată termic (ZIT) face parte din materialul de bază,urmează imediat după zona de trecere și prezintă o structură cu un caracter

eterogen pronunţat:structură de supraîncălzire vecină cu zona de trecere,structură de normalizare şi structură de recristalizare completă şi incompletă înspre materialul de bază.Caracterul eterogen al structurii şi compoziţiei chimice,cît şi tensiunile interne de valori ridicate fac din cusăturile sudate porţiuni de minimă rezistenţă în organele de maşini şi construcţiile metalice.Din acest motiv cusăturile sudate se supun unor tratamente termice, care în funcţie de natura lor şi natura organelor de maşini pot fi primare sau finale.

Refacerea structurii cusăturii sudate se realizează printr-o recoacere de normalizare.Austenitizarea se face fie prin încălzirea locală a cusăturilor sudate fie prin încălzirea întregului ansamblu.

In urma răcirii în aer liber rezultă o structură finală şi uniformă.Subansamblele pretenţioase se supun după normalizare şi unei recoaceri de detensionare.Aceste tratamente termice pot fi atît primare cît şi finale.

Parametrii tehnologici ai tratamentelor termice de normalizare şi detensionare se stabilesc în funcţie de natura materialului,de forma şi dimensiunile pieselor sudate.Se supun întotdeauna tratamentelor termice de refacere a structurii şi de detensionare subansamblele sudate ale recipienţilor din industria chimică şi alimentară,recipienţi de vid sau de presiuni înalte,batiuri,sănii de maşini unelte şi utilaje,boghiuri pentru vagoane şi locomotive, subansamble din industria navală,aeronautică etc.

Aceste tratamente termice asigură organelor de maşini şi construcţiilor sudate stabilitate dimensională şi păstrarea formei în timpul exploatării.

8.2.1o.1. **Clasificarea tratamentelor termice aplicate îmbinărilor şi construcţiilor sudate în raport cu poziţia lor faţă de operaţia de sudare.**

Utilizarea pe scară largă în construcţiile sudate, a oţelurilor aliate cu tehnologii speciale de sudare cuprinzînd şi diferite tratamente termice, este posibilă numai prin perfecţionarea continuă a tehnologiei aplicate. Cu toate că în practică se admite o oarecare libertate în alegerea tratamentului termic totuşi sînt necesare norme care să indice tratamentele optime pe baza unor date sigure şi verificate.

Din punct de vedere al poziţiei tratamentului termic aplicat faţă de operaţia de sudare ele se pot împărţi în trei grupe:

a)-tratamente termice înainte de sudare ;

b)- " " în timpul sudării ;

c)- " " după sudare .

Inafară de aceste tipuri distincte de tratamente termice aplicate construcţiilor sudate există şi numeroase combinaţii ale acestor tratamente care formează grupuri de tratamente termice complexe.

8.2.1o.2 Tratamente termice înainte de sudare.

Aceste tratamente termice se aplică diferenţiat în funcţie de materialul folosit în construcţia sudată, cu scopul de a pregăti porţiunea de sudare, atunci cînd starea materialului nu corespunde cerinţelor impuse de procesul tehnologic de sudare .Cele mai folosite sînt:

-recoacerea de detensionare a oţelurilor turnate şi deformate plastic la cald;

-recoacerea de decristalizarea a oţelurilor deformate plastic la rece.

-călirea de punere în soluţie a oţelurilor austenitice

Ciclurile termice caracteristice sînt în funcţie de calitatea materialului şi mărimea piesei.

8.2.10.3

Tratamente termice în timpul sudării

Aceste tratamente constă în diverse tipuri de preîncălzire care se aplică construcţiilor de dimensiuni mari din oţeluri cu sensibilitate la fisurare .

La stabilirea regimului de preîncălzire se ţine seama de următorii factori:

-compoziţia chimică a oţelului ;

-forma şi dimensiunea piesei ;

-sensibilitatea la fisurare .

de aceeaşi factori se ţine seama şi la alegerea tipului de tratament termic de preîncălzire,după cum urmează:

- Preîncălzirea simplă constă în încălzirea piesei pînă la temperatura cerută de procesul tehnologic de sudare , executîndu-se sudarea în timp ce piesa se răceşte.Metoda se foloseşte la sudarea unor piese cu configuraţie simplă confecţionate din oţeluri sensibile la durificare.

-Sudarea cu temperatură de lucru constantă.In acest fel se obţin proprietăţi sigure ale îmbinării sudate deoarece regimul termic al procesului de sudare nu este influienţat de variaţia temperaturii piesei.Temperatura de încălzire se adoptă pe baza unor norme sau se calculează.

- Sudarea cu ridicarea temperaturii de lucru prin sudare.Prin acest procedeu se urmăreşte înlăturarea formării martensitei prin

reținerea căldurii rezultate din procesul de sudare,care în unele cazuri este suficientă pentru evitarea vitezei critice de răcire.Reținerea căldurii necesare evitării vitezei critice de răcire se poate obține prin sudarea consecutivă a straturilor sau prin sudarea cu electrozi cu înveliș gros.

Tratamentul termic de preîncălzire face parte integrantă din normele de sudabilitate ale oțelului.Executarea incorectă a tratamentului termic de preîncălzire duce la apariția fisurilor în cusătură sau în zona influențată termic.Prin preîncălzire tensiunile scad sub limita fisurării .

Pentru determinarea temperaturii de preîncălzire există mai multe metode a căror efect se determină prin încercări de duritate, încercări microstructurale sau pe încercări de reziliență și tracțiune.Temperaturile de preîncălzire pot fi determinate și cu ajutorul metodei de călire frontală,după curba Jominy.Pentru aceasta sînt necesare tabele determinate experimental pentru diferite temperaturi de preîncălzire,luîndu-se în considerație grosimea tablei,forma cusăturii și diametrul electrodului.Cea mai utilizată metodă de determinare a temperaturii de preîncălzire, preferată datorită simplității ei,se bazează pe conținutul echivalent de carbon. Pentru calculul conținutului echivalent de carbon,în cazul îmbinărilor sudate se folosește relația lui Seferian:

$$C_e = C + \frac{Mn}{2o} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr+Mo+V}{1o}$$

In această relație simbolurile elementelor de aliere reprezintă și procentele lor din oțel.

Pentru a se lua în considerație și influența grosimii materilului asupra sudabilității,se calculează un carbon echivalent secundar:

$$C_e' = o,oo5 x \delta x C_e$$

δ = grosimea materialului în mm

Cu ajutorul celor două mărimi calculate se determină carbonul echivalent total:

$$C_e'' = C_e + C_e' = C_e(1 + 0{,}005x\delta)$$

Determinarea temperaturii de preîncălzire se face cu relaţia:

$$\theta_{pr} = 350\sqrt{C_e'' - 0{,}25} \qquad [°C]$$

Preîncălzirea este costisitoare iar pentru sudor condiţiile de muncă se înrăutăţesc. De aceea, înainte de a recomanda preîncălzirea pieselor de sudat, trebuie luate în consideraţie toate posibilităţile de a o înlătura, sau a recomanda o temperatură minimă care să asigure calitatea îmbinării.

8.2.1o4

Tratamentele termice după sudare

Aceste tratamente se aplică după sudarea şi răcirea piesei, ele se aleg în funcţie de compoziţia chimică a metalului, mărimea şi destinaţia piesei şi tehnologia de sudare aplicată. Din această categorie fac parte:

-Recoacerea de detensionare ;
- " " normalizare ;
-Călirea de punere în soluţie şi revenirea oţelurilor austentice ..

In cazul construcţiilor sudate cel mai importaant tratament termic aplicat după realizarea construcţiei este detensionarea care poate fi termică sau mecanică. Avînd în vedere că detensionarea construcţiilor sudate prezintă numeroase particularităţi şi că celălalte tratamente aplicate după sudare sînt comune şi altor tehnologii le prelucrare, se va trata în acest grup de tratamente numai tehnologia detensionării.

Tensiunile interne introduse prin sudare se suprapun peste tensiunile rezultate prin solicitarea în exploatare scăzînd capacitatea

portantă a construcţiei.

Determinarea gradului de detensionare se realizează practic cu ajutorul probelor martor, care sînt sudate în aceleaşi condiţii ca şi construcţia. Aceste probe sînt supuse detensionării o dată cu construcţia sudată, după care se supun măsurătorilor în vederea determinării gradului de detensionare. In figura 269 este prezentată o probă specifică determinării gradului de detensionare Proba are forma unui cadru închis, avînd executată o sudură MN, care produce o stare tensională. Dimensiunile epruvetei (probei) se determină în funcţie de grosimea tablei.

Contracţia sudurii MN care produce starea tensională acţionează asupra porţiunii PQ, care prin tăiere după sudare produce o destindere K' – K = h. Dacă la o probă sudată se aplică un tratament de detensionare atunci mărimea: K' – K = h

Gradul procentual de detensionare se determină cu relaţia:

$$G = \frac{h' - h}{h} \cdot 100\ (\%)$$

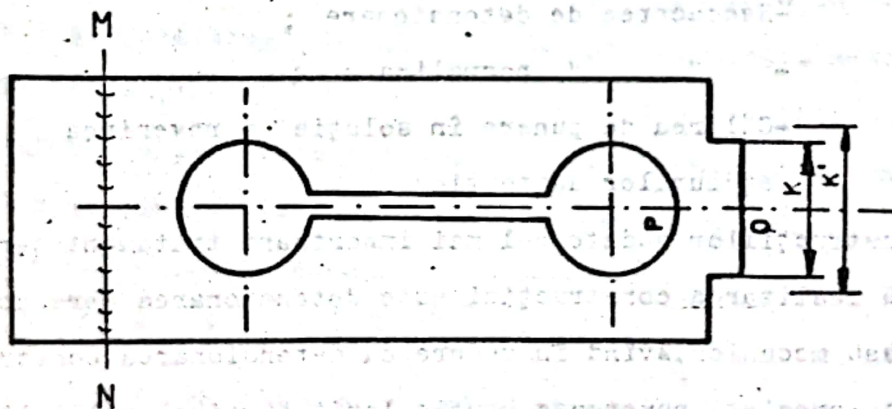


Fig 269 Epruvetă pentru determinarea gradului de detensionare termică a cusăturilor sudate.

Incălzirea se recomandă a se face cu o viteză de $\frac{50000}{e}$ °C/h, dar să nu depăşească 220°C/h, unde e = grosimea tablelor sudate.

Menţinerea la temperatură se realizează la o durată de 2 minute pentru fiecare milimetru grosime de tablă

Pentru determinarea gradului de detensionare termică se pot folosi şi metode analitice,care în funcţie de modelul fizico-matematic adoptat,se pot apropia mai mult sau mai puţin de modelul real.

Cunoscînd factorii de influienţă care determină starea de tensiune a unui metal la o anumită temperatură ,se poate găsi o dependenţă funcţională între aceşti factori în aşa fel încît să reflecte fenomenul real al detensionării termice.Parametrii care stabilesc starea de tensiune a unui corp metalic supus unui ciclu de încălzire sînt:

- Variaţia limitei de curgere cu temperatura;
- Variaţia modulului de elasticitate cu temperatura ;
- Variaţia caracteristice de curgere lenta cu temperatura;

Dependenţa functională dintre aceşti parametri poate fi stabilită numai pe baza unor ipoteze de calcul.

8.2.10.5

Determinarea gradului de detensionare prin folosirea unui model reologic pretensionat şi supus detensionării termice

Această ipoteză are avantajul că se pot construi modele reologice complexe pentru corpul metalic pretensionat în aşa fel încît să redea cît mai fidel comportarea corpului real metalic sub influienţa temperaturii şi efortului.

Pentru alcătuirea modelelor reologice se folosesc trei elemente fundamentale .

Combinînd aceste trei elemente se poate realiza un model care să satisfacă la cît mai multe din proprietăţile corpului real,astfel, pentru corpul din oţel trebuie să fie satisfăcută diagrama $\sigma = f(\varepsilon)$ chiar într-o formă simplificată,precum şi comportarea dinamică a oţelului (fluaj).Modelul reologic realizat trebuie să aibă deci următoarele proprietăţi ;

-elasticitate ;

-fluaj ;

- plasticitate cu ecruisare.

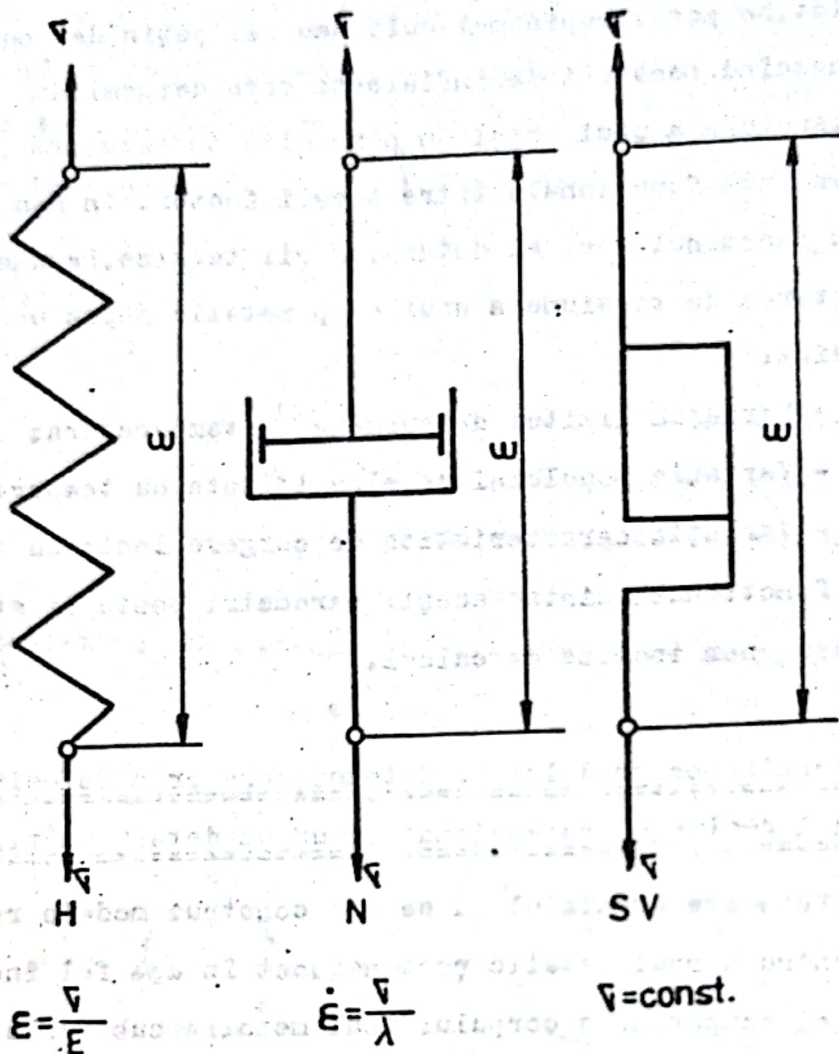


Fig.27o. Elementele fundamentale ale modelelor reologice

In fig.27o literele au următoarele semnificaţii:

H - corpul perfect elastic;

N - corpul vîscos;

SV - corpul cu frecare internă.

Elementele H şi SV sînt independente de timp pe cînd elementul N este dependent de timp.

Un model reologic care să satisfacă aceste proprietăţi este prezentat în fig. 271

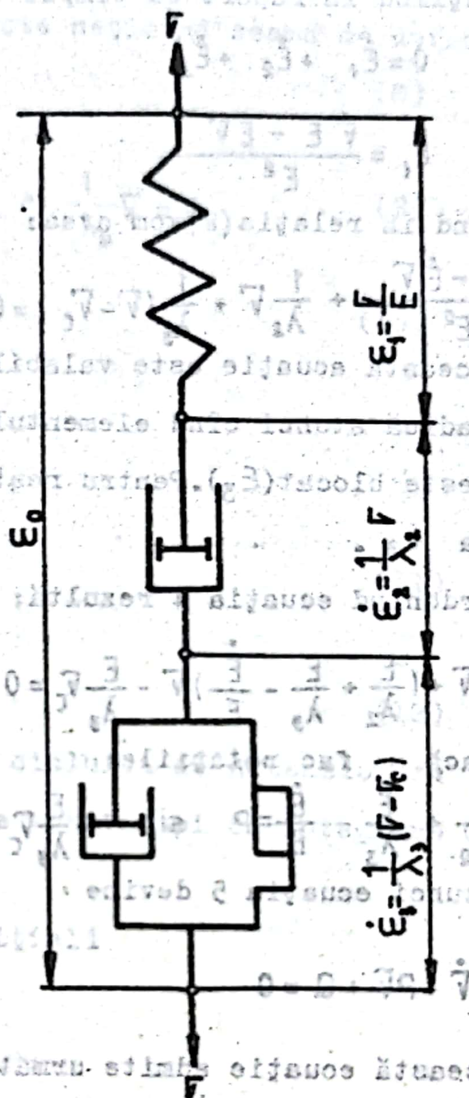


Fig. 271 - Model reologic pretensionat pentru oţel.

ε_1 - componenta elastică

ε_2 - componenta de fluaj

ε_3 - componenta de deformare plastică cu ecruisare

$\lambda_2 ; \lambda_3$ - coeficienţi de vîscozitate

E - modul de elasticitate

σ_c - tensiunea la limita de curgere

σ - tensiunea de solicitare a modelului

ε_0 - deformaţia iniţială corespunzătoare tensiunii interne iniţiale.

Ecuaţia de echilibru a modelului va fi:

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 \qquad (1)$$

diferenţiind în raport cu timpul vom avea:

$$0 = \dot{\varepsilon}_1 + \dot{\varepsilon}_2 + \dot{\varepsilon}_3 \qquad (2)$$

$$\dot{\varepsilon}_1 = \frac{\dot{\sigma} E - \dot{E} \sigma}{E^2} \qquad (3)$$

înlocuind în relaţia(2)vom avea:

$$\frac{\dot{\sigma} E - \dot{E} \sigma}{E^2} + \frac{1}{\lambda_2}\sigma + \frac{1}{\lambda_3}(\sigma - \sigma_c) = 0 \qquad (4)$$

Această ecuaţie este valabilă numai pentru perioada cînd $\sigma > \sigma_c$,adică atunci cînd elementul de frecare din componenta plastică nu este blocat(ε_3).Pentru restul perioadei modelul este fără componenta ε_3.

Ordonînd ecuaţia 4 rezultă:

$$\sigma + \left(\frac{E}{\lambda_2} + \frac{E}{\lambda_3} - \frac{\dot{E}}{E}\right)\sigma - \frac{E}{\lambda_3}\sigma_c = 0 \qquad (5)$$

dacă se fac notaţiile:

$$\frac{E}{\lambda_2} + \frac{E}{\lambda_3} - \frac{\dot{E}}{E} = P \quad \text{şi} \quad -\frac{E}{\lambda_3}\sigma_c = Q$$

atunci ecuaţia 5 devine

$$\dot{\sigma} + P\sigma + Q = 0 \qquad (6)$$

Această ecuaţie admite următoarea soluţie:

$$\sigma = e^{-\int_0^t P dt}\left[C - \int_0^t e^{\int_0^t P dt} \cdot Q \, dt\right] \qquad (7)$$

Atît P cît şi Q sînt funcţii de timp.

Cunoscînd variaţia cu temperatura a parametrilor $E, \sigma, \lambda_2, \lambda_3$ precum şi dependenţa temperaturii de timp prin intermediul ciclului de încălzire T(t) se poate efectua calculul pentru determinarea variaţiei tensiunii pe parcursul ciclului de încălzire,în perioada cînd $\sigma > \sigma_c$

Constanta C se determină punînd condiţia că la începutul perioadei

tensiunea este egală cu tensiunea inițială.

Pentru perioada de ciclu de încălzire, menținere și răcire cînd $\sigma < \sigma_c$ ecuația se stabilește netinînd seama de deformația ε_3:

$$\dot{\varepsilon}_1 + \dot{\varepsilon}_2 = 0 \qquad (8)$$

înlocuind vom avea:

$$\frac{\dot{\sigma}E - \dot{E}\sigma}{E^2} + \frac{1}{\lambda_2}\sigma = 0 \qquad (9)$$

respectiv:

$$\dot{\sigma} + \left(\frac{E}{\lambda_2} - \frac{\dot{E}}{E}\right)\sigma = 0 \qquad (10)$$

dacă se notează cu:

$$M = \frac{E}{\lambda_2} - \frac{\dot{E}}{E}$$

ecuația devine:

$$\dot{\sigma} + M\sigma = 0 \qquad (11)$$

care admite soluția:

$$\ln \sigma = C_1 - \int_0^t M\,dt \qquad (12)$$

Pentru prima porțiune a ciclului de detensionare se pun condiții inițiale de determinare a constantei de integrare C_1 adică pentru $t=0 \rightarrow \sigma = \sigma_0$

σ_0 = tensiunea internă inițială

$$\ln \sigma_0 = C_1$$

$$\sigma = \sigma_0 \cdot e^{-\int_0^t M\,dt} \qquad (13)$$

Ecuația (13) este valabilă la limită pentru $\sigma = \sigma_c$ cînd se determină o valoare t_1 a domeniului de valabilitate, căruia îi va corespunde o tensiune σ_1. Pentru perioada de menținere relația (13) se simplifică întrucît M este constant. $M = \frac{E}{\lambda_2}$.

Pentru perioada de răcire se folosește deasemenea relația (13) [illegible] T(t) are altă funcție (descrescătoare)

Cu aceste rela[illegible] determinate se poate construi graficul general de detensionare.

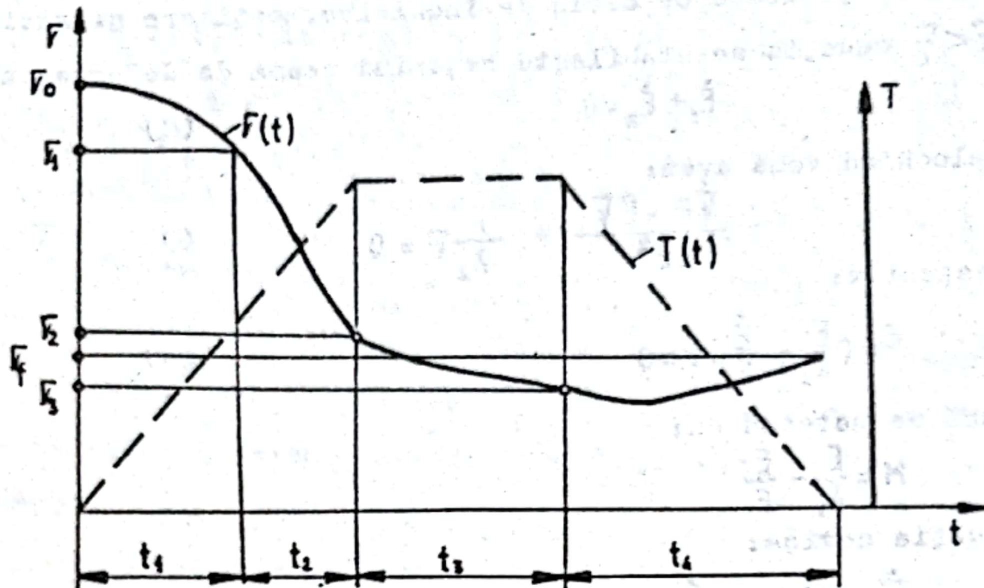


Fig.272 Graficul de variaţie a tensiunii modelului pretensionat pe parcursul ciclului de încălzire T(t)

In perioada t_1 tensiunea va scădea pînă la atingerea valorii $\sigma_1 = \sigma_c$ conform relaţiei:

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\int_0^t M dt} \qquad (14)$$

In perioada t_2 tensiunea va scădea în condiţi cînd $\sigma > \sigma_c$ astfel că va fi valabilă relaţia:

$$\sigma = e^{-\int_0^t P dt}\left[C - \int_0^t Q \cdot e^{\int_0^t P dt} dt\right] \qquad (15)$$

Considerînd originea la începutul perioadei t_2 determinarea constantei se face punînd condiţia: pentru $t = 0 \longrightarrow \sigma = \sigma_1$

Pentru perioada de menţinere este valabilă relaţia: $\sigma = \sigma_2 \cdot e^{-Mt}$

In acest caz M este constant întrucît parametrii de material sînt constanţi la temperatură constantă.

In perioada de scădere a temperaturii este valabilă aceeaşi relaţie ca în prima perioadă de creştere a temperaturii însă trebuie ţinut seama că E şi λ_2 are sens invers de variaţie, întrucît se schimbă

funcţia T(t).

$$\sigma = \sigma_3 e^{\int_0^t M dt} \qquad (17)$$

După rezolvarea integralei punînd condiţia pentru $t = t_3$ se determină tensiunea finală σ_f. Trebuie avut în vedere că s-a luat ca origine începutul intervalului t_3.

Această mutare a originii s-a efectuat pentru simplificarea relaţiilor de calcul. In ce priveşte folosirea în practică a acestei metode de calcul al procesului de detensionare se impune determinarea experimentală a parametrilor λ_2 şi λ_3.

Parametul λ_2 este uşor de determinat prin încercări de fluaj la diverse temperaturi în intervalul de tratament termic.

Parametrul λ_3 este mai dificil de determinat întrucît sînt necesare efectuarea de încercări de tracţiune cu viteză mare la diferite temperaturi

Aceşti parametri λ_2 şi λ_3 nu sînt specifici încercărilor tehnice şi calculului în domeniul tehnic.

8.2.10.6. Determinarea gradului de detensionare prin folosirea unui model fizico-matematic care ţine seama de diagramele tehnice ale metalului şi de relaţii analitice de calcul în proiectare

Stabilirea unui model fizico-matematic care să satisfacă întreg ciclul de detensionare este foarte greu întrucît în perioada de încălzire au loc două etape succesive de scădere a tensiunilor care se supune unor fenomene diferite, astfel:

- în prima parte a încălzirii tensiunile scad datorită modificării valorii modulului de elasticitate a materialului precum şi curgerii lente prin fluaj.
- în partea a doua a ciclului de încălzire peste aceste fenomene se suprapune şi procesul de deformare plastică.

Din această cauză relaţiile de calcul ale tensiunii interne în diferitele intervale ale ciclului de detensionare vor fi diferite. Pentru zonele din ciclul de tratament termic de detensionare în care limita de curgere a materialului nu scade la încălzire pînă în apropierea tensiunii interne se poate adopta următorul model fizico-matematic.

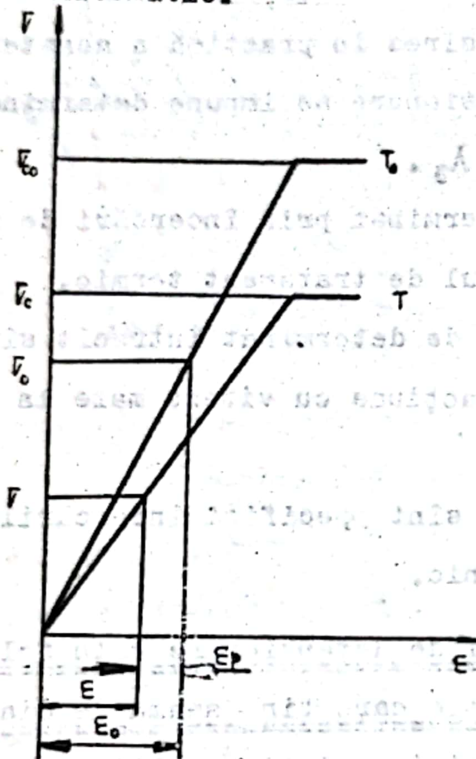


Fig.273
Diagrama $\sigma(\varepsilon)$ simplificată (cu plasticitate perfectă) la două temperaturi diferite(T_o şi T)

σ_{co} =limita de curgere

σ_c =limita de curgere la temperatura T

σ_o =tensiunea iniţială

ε_o =deformaţia corespunzătoare tensiunii iniţiale.

ε =deformaţia corespunzătoare tensiunii interne la temperatura T

ε_p =Deformaţia corespunzătoare scăderii tensiunii datorită încălzirii de la temperatura T_o la temperatura T

Din această diagramă rezultă relaţia:

$$\varepsilon_o = \varepsilon + \varepsilon_p$$

Pentru deformaţia de fluaj ε_p există numeroase relaţii analitice propuse, care în anumite intervale de timp şi de temperatură se apropie mai mult sau mai puţin de fenomenul real.

Ex.

$\lg \varepsilon_p = \beta \lg t + \lg b$ unde β şi b sînt funcţii de tem-

peratură şi efort(Bailey)

Ex.

$\varepsilon = K\sigma^n$ unde K şi n sînt funcţii de temperatură şi timp(Andrade)

Ex.

$\dot{\varepsilon}_p = K\sigma$ unde K este o funcţie de temperatură (Maxwell)

Din studiile efectuate la catedra de Tehnologie a Institutului Politehnic din Iaşi a rezultat că pentru studiul detensionării este necesară adoptarea unei relaţii cu caracter mai general care să satisfacă pentru un interval cît mai mare de timp şi temperatură,în acest sens propunîndu-se relaţia.

$$\varepsilon_p = K\cdot\sigma^n\cdot T^m\cdot t^p \qquad (19)$$

unde K,n,m,şi p sînt constante de material independente de timp (t) temperatură(T), efort(σ).

Cu toate că relaţia exponenţială pare complicată,faţă de a altor autori,ea prezintă avantajul că este uşor de folosit în tehnică.

In conformitate cu legea lui Houke se poate scrie:

$$\varepsilon_o = \frac{\sigma_o}{E_o} \; ; \; \varepsilon = \frac{\sigma}{E} \qquad (2o)$$

unde E_o =modulul de elasticitate la temperatura T_o (iniţial)

E =modulul de elasticitate la temperatura T(pe parcursul procesului de încălzire şi răcire)

$$\frac{\sigma_o}{E_o} = \frac{\sigma}{E} + K\cdot\sigma^n\cdot T^m\cdot t^p \qquad (21)$$

$$\sigma = \frac{E}{E_o}\sigma_o - E\cdot K\cdot\sigma^n\cdot T^m\cdot t^p \qquad (22)$$

Pentru zona ciclului termic în care tensiunea internă tinde să depăşească limita de curgere a materialului la temperatura considerată,tensiunea internă în procesul detensionării nu mai depinde de

tensiunea inițială (σ_0)

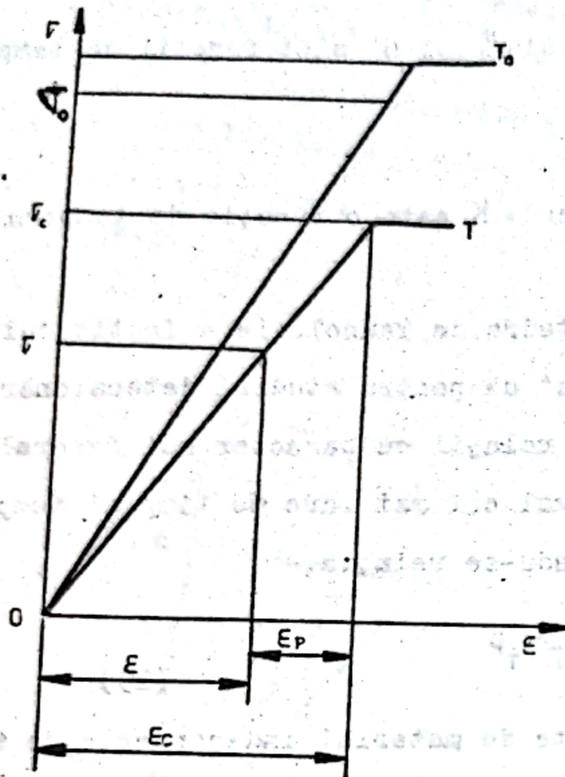


Fig. 274
Diagrama $\sigma(\varepsilon)$ simplificată la două temperaturi diferite cînd limita de curgere la cald scade sub valoarea tensiunii inițiale.

Din această diagramă rezultă că tensiunea pe parcursul ciclului de detensionare considerat nu depinde de tensiune inițială putîndu-se scrie relația:

$$\varepsilon_c = \varepsilon + \varepsilon_p \qquad (23)$$

Considerînd metalul cu plasticitate perfectă, datorită deformațiilor foarte mici care au loc în procesul detensionării se poate scrie:

$$\varepsilon_c = \frac{\sigma_c}{E} \qquad (24)$$

Folosind relația 22 și 19 rezultă:

$$\sigma = \sigma_c - E \cdot K \cdot \sigma^n \cdot T^m \cdot t^p \qquad (25)$$

Domeniul de valabilitate al relației 25 se determină intersectînd funcția $\sigma_c(\epsilon)$ cu funcția σ, în perioada de creștere a temperaturii T(t). Cu aceste funcții determinate (22și25) se poate trasa graficul general al detensionării, pentru toate domeniile ciclului de detensionare termică.

Pentru perioada t_1 tensiunea internă va scădea în conformitate cu relația 22 pînă la atingerea valorii σ_1 care este egală cu limita de curgere la temperatura respectivă.

Pentru perioada t_2 tensiunea internă va scădea în conformitate cu relația 25 pînă la atingerea temperaturii maxime a ciclului de încălzire, cînd va atinge valoarea σ_2.

In perioada de menținere t_3 tensiunea va scădea considerînd relația 22 în care toți parametri sînt constanți cu excepția timpului, la sfîrșitul perioadei de menținere se va obține tensiunea internă σ_3.

Pentru perioada de răcire (t_3) modulul de elasticitate inițial se consideră modulul corespunzător temperaturii de menținere, iar modulul de elasticitate în proces este crescător, folosindu-se pentru calculul tensiunii finale σ_f relația 22 în care T=o adică:

$$\sigma_f = \frac{E_o}{E_m}\sigma_3 \qquad (26)$$

Acest mod de calcul simplifica mult determinarea tensiunii finale remanente în urma aplicării unui ciclu de detensionare termică întrucît sînt necesare determinarea numai a trei valori (σ_1, σ_2 și σ_3) pentru calculul tensiunii finale(σ_f).

Pentru determinarea coeficienților K,n,m,și p se pot folosi un fascicul de curbe de fluaj sau relaxare a materialului.

Determinrea coeficientului (n) presupune cunoașterea adouă curbe de fluaj izoterme la două sarcini diferite, la aceeași temperatură și același interval de timp.

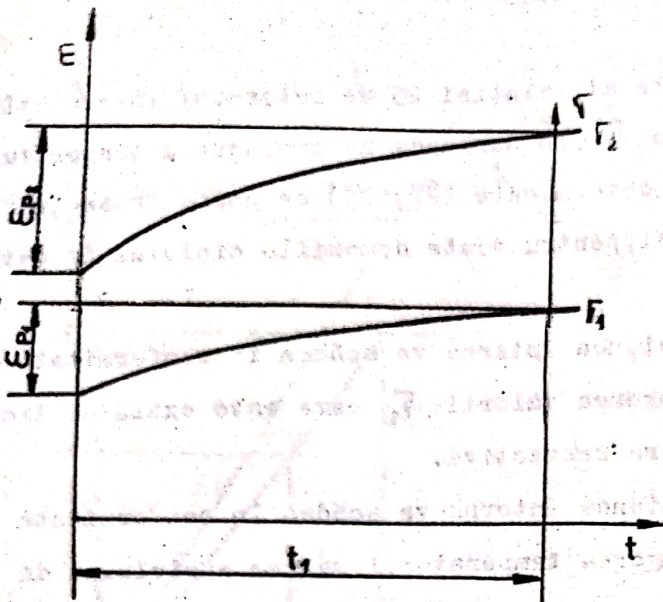


Fig. 275

Curbele de fluaj pentru determinarea parametrului „n" la temperatura T_1 şi timpul t_1 pentru două sarcini σ_1 şi σ_2

$$\varepsilon_{p1} = K\,\sigma_1^n\,T_1^m\,t_1^p$$

$$\varepsilon_{p2} = K\,\sigma_2^n\,T_1^m\,t_1^p \qquad (27)$$

Împărţind cele două relaţii şi logaritmind obţinem

$$n = \frac{\lg \frac{\varepsilon_{p2}}{\varepsilon_{p1}}}{\lg \frac{\sigma_2}{\sigma_1}} \qquad (28)$$

La determinarea parametrului „m" se folosesc două curbe de fluaj la două temperaturi diferite

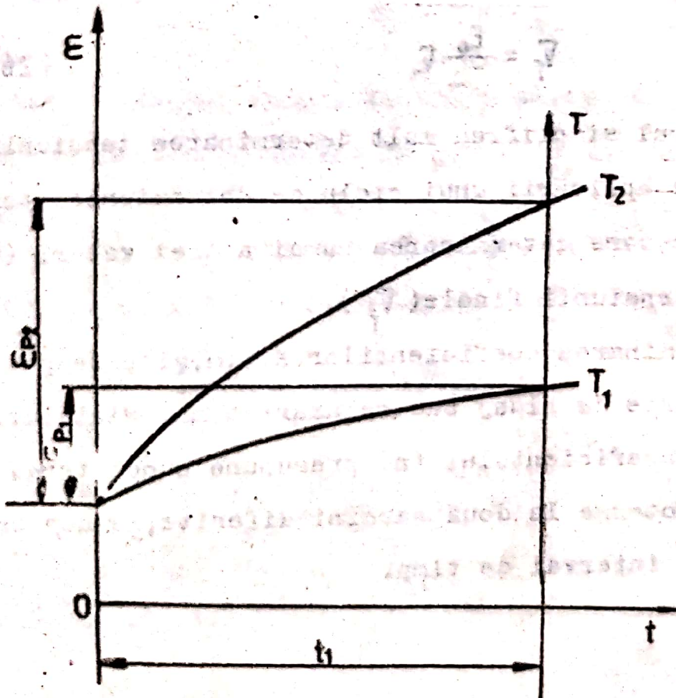


Fig. 276

Curbele de fluaj pentru determinarea parametrului „m" la două temperaturi diferite T_1 şi T_2 şi la aceeaşi tensiune şi timp.

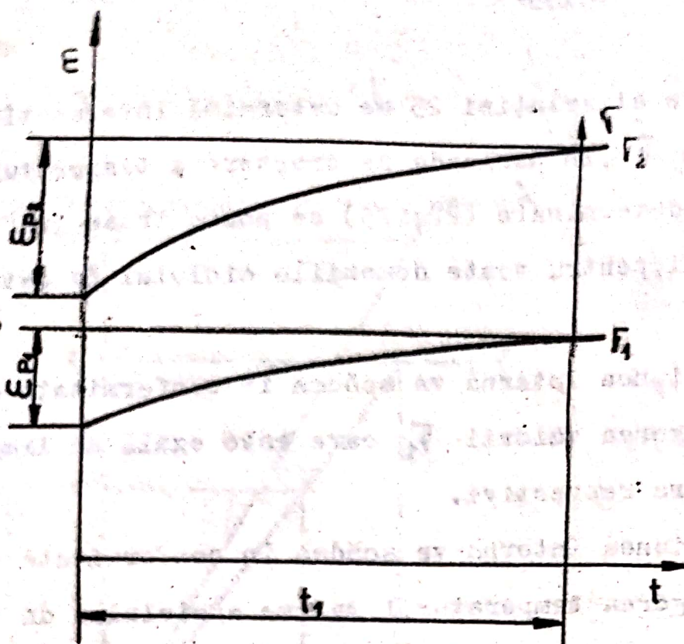


Fig. 275

Curbele de fluaj pentru determinarea parametrului „n" la temperatura T_1 şi timpul t_1 pentru două sarcini σ_1 şi σ_2

$$\varepsilon_{p1} = K\,\sigma_1^n T_1^m t_1^p$$

$$\varepsilon_{p2} = K\,\sigma_2^n T_1^m t_1^p \qquad (27)$$

Împărţind cele două relaţii şi logaritmînd obţinem

$$n = \frac{\lg \frac{\varepsilon_{p2}}{\varepsilon_{p1}}}{\lg \frac{\sigma_2}{\sigma_1}} \qquad (28)$$

La determinarea parametrului „m" se folosesc două curbe de fluaj la două temperaturi diferite

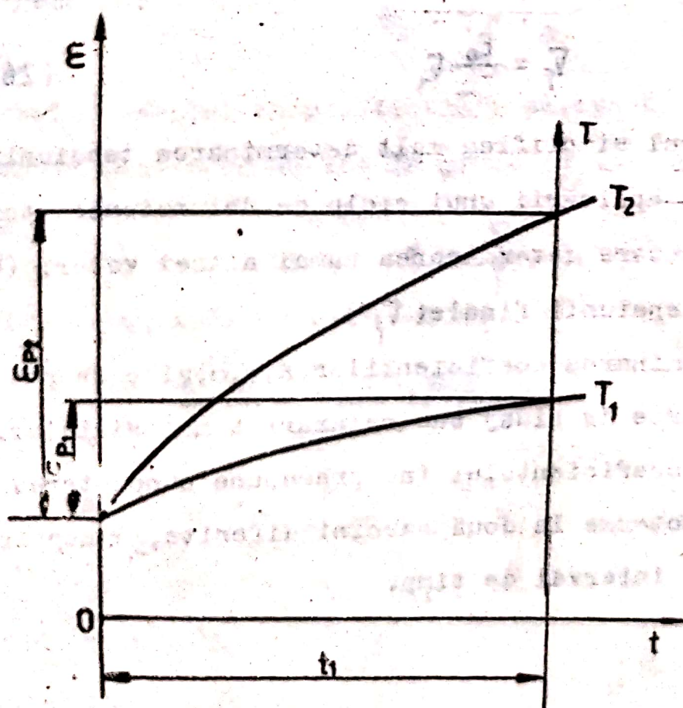


Fig. 276

Curbele de fluaj pentru determinarea parametrului „m" la două temperaturi diferite T_1 şi T_2 şi la aceeaşi tensiune şi timp.

ţie

ut

$$\varepsilon_{p1} = K \cdot \sigma^{n} \cdot T_1^{m} \cdot t^{p}$$

$$\varepsilon_{p2} = K \cdot \sigma^{n} \cdot T_2^{m} \cdot t^{p} \qquad (29)$$

Impărţind şi logaritmînd relaţiile se obţine

$$m = \frac{\lg \frac{\varepsilon_{p2}}{\varepsilon_{p1}}}{\lg \frac{T_2}{T_1}} \qquad (30)$$

Pentru determinarea parametrului p se foloseşte o singură curbă de fluaj, luîndu-se în consideraţie două puncte la două intervale de timp

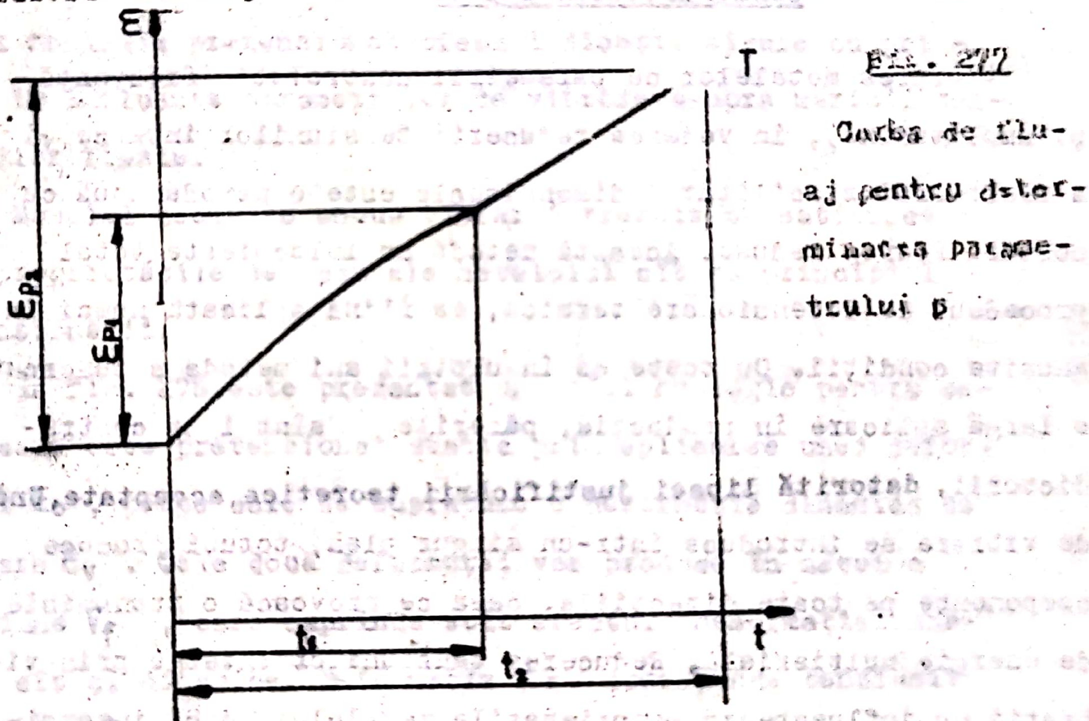


Fig. 27

Curba de fluaj pentru determinarea parametrului p

$$\varepsilon_{p1} = K \cdot \sigma^{n} \cdot T^{m} \cdot t_1^{p}$$

$$\varepsilon_{p2} = K\, \sigma^{n}\, T^{m}\, t_2^{p} \qquad (31)$$

Împărţind şi logaritmînd obţinem:

$$p = \frac{\lg \frac{\varepsilon_{p2}}{\varepsilon_{p1}}}{\lg \frac{t_2}{t_1}} \qquad (32)$$

$$\varepsilon_{p1} = K \cdot \sigma^{n} \cdot T_1^{m} \cdot t^{p}$$
$$\varepsilon_{p2} = K \cdot \sigma^{n} \cdot T_2^{m} \cdot t^{p} \qquad (29)$$

Impărțind și logaritmînd relațiile se obține

$$m = \frac{\lg \frac{\varepsilon_{p2}}{\varepsilon_{p1}}}{\lg \frac{T_2}{T_1}} \qquad (30)$$

Pentru determinarea parametrului p se folosește o singură curbă de fluaj, luîndu-se în considerație două puncte la două intervale de timp

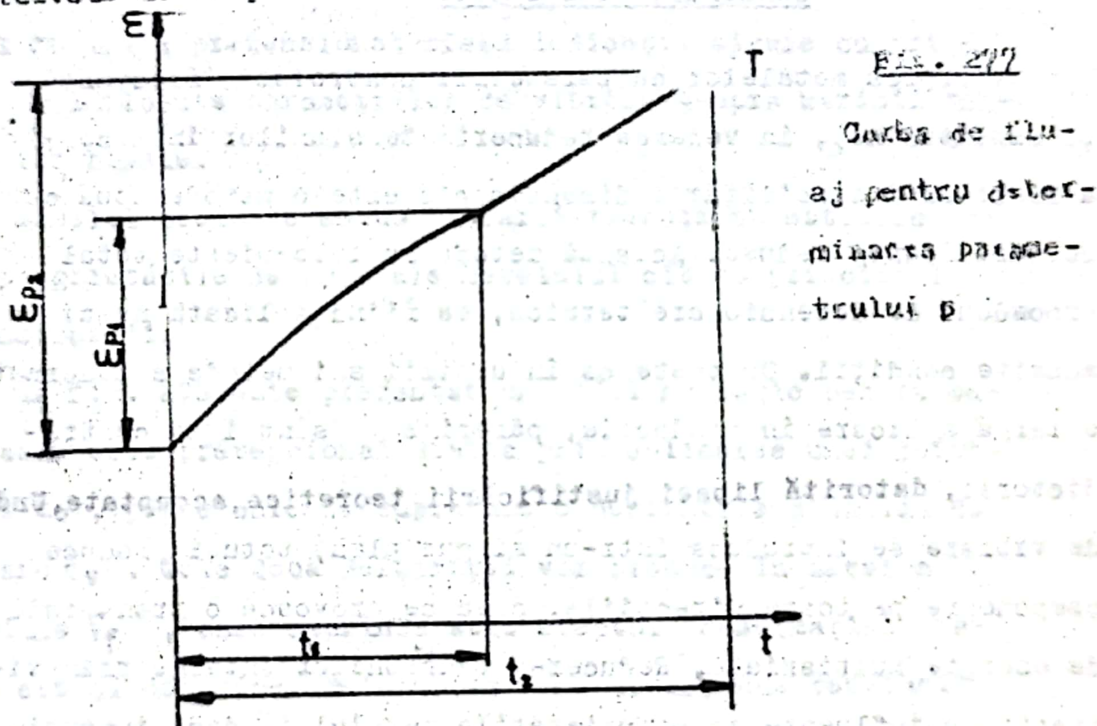


Fig. 27 Curba de fluaj pentru determinarea parametrului p

$$\varepsilon_{p1} = K \cdot \sigma^{n} \cdot T^{m} \cdot t_1^{p}$$
$$\varepsilon_{p2} = K \sigma^{n} T^{m} t_2^{p} \qquad (31)$$

Impărțind și logaritmînd obținem:

$$p = \frac{\lg \frac{\varepsilon_{p2}}{\varepsilon_{p1}}}{\lg \frac{t_2}{t_1}} \qquad (32)$$

Parametrul k se determină înlocuind în relația 19 valorile n, m și p determinate pentru un punct oarecare din diagramele folosite.

Pentru determinări foarte pretențioase a tensiunii remanente se recomandă determinarea parametrilor n, m, p și k pe intervale de temperaturi, bineînțeles odată cu aceasta complicîndu-se și calculul tensiunii finale.

8.2.10.7. Detensionarea prin vibrare a construcțiilor sudate

Vibrarea metalelor cu parametrii controlați (frecvență și amplitudine), în vederea reducerii tensiunilor interne și a realizării stabilității dimensionale este o metodă nouă cu costuri foarte reduse. Această metodă nu înlocuiește total procedeul de detensionare termică, ea fiind aplicată numai în anumite condiții. Cu toate că în ultimii ani metoda a cunoscut o largă aplicare în producție, părerile sînt încă contradictorii, **datorită lipsei justificării teoretice acceptate.** Unda de vibrare se introduce într-un singur plan, totuși produce componente pe toate direcțiile, ceea ce provoacă o transmisie de energie multiaxială. Reducerea tensiunilor interne prin vibrații nu influențează proprietățile metalului, dacă intensitatea și durata de vibrare nu depășește o anumită limită.

Tensiunile interne fiind însoțite de deformații elastice locale, prin vibrare deformațiile elastice sînt transformate parțial în deformații plastice și ca urmare tensiunile interne scad.

Pentru a analiza fenomenele care au loc în procesul de

Parametrul k se determină înlocuind în relația 19 valorile n, m și p determinate pentru un punct oarecare din diagramele folosite.

Pentru determinări foarte pretențioase a tensiunii remanente se recomandă determinarea parametrilor n, m, p și k pe intervale de temperaturi, bineînțeles odată cu aceasta complicîndu-se și calculul tensiunii finale.

8.2.10.7. Detensionarea prin vibrare a construcțiilor sudate

Vibrarea metalelor cu parametrii controlați (frecvență și amplitudine), în vederea reducerii tensiunilor interne și a realizării stabilității dimensionale este o metodă nouă cu costuri foarte reduse. Această metodă nu înlocuiește total procedeul de detensionare termică, ea fiind aplicată numai în anumite condiții. Cu toate că în ultimii ani metoda a cunoscut o largă aplicare în producție, părerile sînt încă contradictorii, **datorită lipsei justificării teoretice acceptate. Unda** de vibrare se introduce într-un singur plan, totuși produce componente pe toate direcțiile, ceea ce provoacă o transmisie de energie multiaxială. Reducerea tensiunilor interne prin vibrații nu influențează proprietățile metalului, dacă intensitatea și durata de vibrare nu depășește o anumită limită.

Tensiunile interne fiind însoțite de deformații elastice locale, prin vibrare deformațiile elastice sînt transformate parțial în deformații plastice și ca urmare tensiunile interne scad.

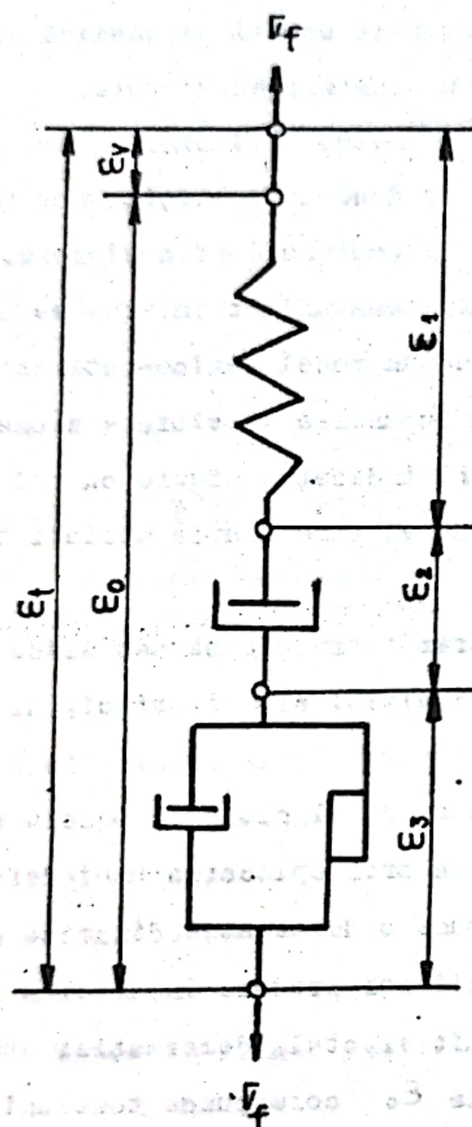
Pentru a analiza fenomenele care au loc în procesul de

vibrare este necesară folosirea unor modele fizico-matematice. Cu ajutorul acestor modele se pot face studii de analiză și optimizare a tehnologiei de detensionare prin vibrare.

Recurgerea la introducerea în metal a altor forme de energie în afară de cea termică, conduce la apariția unor fenomene specifice tehnologiei de detensionare prin vibrare. Analiza efectului vibrării asupra tensiunilor interne se poate face experimental sau folosind un model fizico-matematic, pretensionat și supus vibrării. Supunerea la vibrare a unui model reologic pretensionat oferă indicații sigure cu privire la influența parametrilor de vibrare asupra mărimii tensiunilor finale.

Modelul reologic supus vibrării trebuie să satisfacă atît proprietățile de bază ale metalului cît și principiul detensionării.

În fig. 278 este prezentat un model reologic pentru metal care este pretensionat static prin aplicarea unei deformații ε_o, peste care se suprapune o deformație dinamică de vibrare ε_v. Cele două deformații vor produce în metal o tensiune σ_f, care cuprinde atît efectul demormației statice cît și dinamice. Deformația ε_o corespunde tensiunii inițiale σ_o, ea este constantă întrucît piesa nu-și schimbă configurația înainte și după vibrare. Deformația dinamică ε_v va fi dependentă de pulsația și amplitudinea vibrației.



$$\varepsilon_v = A\sin\omega t$$

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_f}{E}$$

$$\dot{\varepsilon}_2 = \frac{1}{\lambda_2}\sigma_f$$

$$\dot{\varepsilon}_3 = \frac{1}{\lambda_3}(\sigma_f - \sigma_c)$$

Fig. 278

Model reologic pretensionat supus vibrării.

ε_o - deformaţia elastică statică iniţială a modelului;

ε_v - deformaţia introdusă prin vibrare ;

ε_t - deformaţia totală a modelului în procesul vibrării ;

ε_1 - deformaţia elastică ;

ε_2 - deformaţia de curgere prin fluaj ;

ε_3 - deformaţia plastică dinamică ;

σ_f - tensiunea în procesul vibrării ;

σ_o - tensiunea iniţială statică ;

σ_c - tensiunea de alunecare (de curgere) ;

E - modul de elasticitate ;

λ_2 - coeficient de vîscozitate a componentei de deformare prin fluaj ;

λ_3 - coeficientul de vîscozitate a componentei de deformare plastică ;

σ - tensiunea statică în procesul de vibrare ;

σ_v - tensiunea introdusă prin vibrare .

Din analiza modelului din fig. 278 rezultă :

$$\varepsilon_t = \varepsilon_o + \varepsilon_v = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 \qquad /1/$$

$$\sigma_v = \varepsilon_v \cdot E = E \cdot A \cdot \sin\omega t$$

$$\sigma_f = \sigma + \sigma_v = \sigma + EA\sin\omega t \qquad /2/$$

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_f}{E} = \frac{\sigma}{E} + A\sin\omega t \qquad /3/$$

/4/

Derivînd relaţia 1 în raport cu timpul rezultă:

$$\dot{\varepsilon}_t = \dot{\varepsilon}_v = \dot{\varepsilon}_1 + \dot{\varepsilon}_2 + \dot{\varepsilon}_3 \qquad /5/$$

Derivînd relația 4 în raport cu timpul rezultă:

$$\dot{E}_1 = \frac{\dot{\sigma}}{E} + A\cdot\omega\cdot\cos\omega t \qquad /6/$$

Înlocuind valorile în relația 5 rezultă

$$A\cdot\omega\cdot\cos\omega t = \frac{\dot{\sigma}}{E} + A\omega\cos\omega t + \frac{1}{\lambda_2}(\sigma + EA\sin\omega t) + \frac{1}{\lambda_3}(\sigma + EA\sin\omega t - \sigma_c) \qquad /7/$$

Simplificînd și ordonînd termenii rezultă:

$$\dot{\sigma} + E\left(\frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_3}\right)\sigma - \frac{E}{\lambda_3}\sigma_c + E^2\left(\frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_3}\right)A\sin\omega t = 0 \qquad /8/$$

dacă se notează:

$$E\left(\frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_3}\right) = K \qquad /9/$$

rezultă:

$$\dot{\sigma} + K\sigma - \frac{E}{\lambda_3}\sigma_c + KEA\sin\omega t = 0 \qquad /10/$$

Ecuația diferențială 10 reprezintă legea de variație a tensiunii interne pe parcursul procesului de vibrare. Se observă că ecuația este de tipul: $y' + P_{(x)}y + Q_{(x)} = 0$ care admite soluția

$$y = e^{-\int P_{(x)}dx}\left[C - \int Q_{(x)} e^{\int P_{(x)}dx}dx\right]$$

ceea ce pentru ecuația 10 corespunde:

$$\sigma = e^{-kt}\left[C - \int_0^t \left(KEA\sin\omega t - \frac{E}{\lambda_3}\sigma_c\right)e^{kt}dt\right] \qquad /11/$$

Integrînd rezultă:

$$\sigma = e^{-kt}\left[C + \frac{E}{K\lambda_3}\sigma_c e^{kt} - \frac{E}{K\lambda_3}\sigma_c - \frac{KEA}{K^2+\omega^2}(k e^{kt}\sin\omega t - \omega e^{kt}\cos\omega t + \omega)\right] \qquad /12/$$

Derivînd relația 4 în raport cu timpul rezultă:

$$\dot{\varepsilon}_1 = \frac{\dot{\sigma}}{E} + A\cdot\omega\cdot\cos\,\omega t \qquad /6/$$

Înlocuind valorile în relația 5 rezultă

$$A\cdot\omega\cdot\cos\omega t = \frac{\dot{\sigma}}{E} + A\omega\cos\omega t + \frac{1}{\lambda_2}(\sigma + EA\sin\omega t) + \frac{1}{\lambda_3}(\sigma + EA\sin\omega t - \sigma_c) \qquad /7/$$

Simplificînd și ordonînd termenii rezultă:

$$\dot{\sigma} + E\left(\frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_3}\right)\sigma - \frac{E}{\lambda_3}\sigma_c + E^2\left(\frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_3}\right)A\sin\omega t = 0 \qquad /8/$$

dacă se notează:

$$E\left(\frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_3}\right) = K \qquad /9/$$

rezultă:

$$\dot{\sigma} + K\sigma - \frac{E}{\lambda_3}\sigma_c + KEA\sin\omega t = 0 \qquad /10/$$

Ecuația diferențială 10 reprezintă legea de variație a tensiunii interne pe parcursul procesului de vibrare. Se observă că ecuația este de tipul: $y' + P_{(x)}y + Q_{(x)} = 0$

care admite soluția

$$y = e^{-\int P_{(x)}dx}\left[C - \int Q_{(x)}\, e^{\int P_{(x)}dx}\, dx\right]$$

ceea ce pentru ecuația 10 corespunde:

$$\sigma = e^{-kt}\left[C - \int_0^t \left(KEA\sin\omega t - \frac{E}{\lambda_3}\sigma_c\right) e^{kt}dt\right] \qquad /11/$$

Integrînd rezultă:

$$\sigma = e^{-kt}\left[C + \frac{E}{K\lambda_3}\sigma_c e^{kt} - \frac{E}{K\lambda_3}\sigma_c - \frac{KEA}{K^2+\omega^2}\left(k e^{kt}\sin\omega t - \omega e^{kt}\cos\omega t + \omega\right)\right] \qquad /12/$$

Pentru determinarea constantei de integrare „C" se pune condiția ca înainte de începerea vibrării, tensiunea internă să fie egală cu tensiunea inițială

$$t = 0 \quad \text{corespunde} \quad \sigma = \sigma_0$$

ceea ce corespunde $C = \sigma_0$ /13/

Pentru un număr întreg de perioade de vibrații vom avea: $\sin \omega t = 0$ și $\cos \omega t = 1$

$$\sigma = e^{-kt}\left[\sigma_0 - \frac{E\sigma_c}{K\lambda_3} - \frac{K\omega EA}{K^2+\omega^2}\right] + \frac{E\sigma_c}{K\lambda_3} + \frac{K\omega EA}{K^2+\omega^2} \qquad /14/$$

Relația 14 este valabilă (conform ipotezei) numai pentru durata de vibrare în care are loc depășirea limitei de curgere în procesul vibrării, limita de valabilitate va fi exprimată de relația

$$\sigma + \sigma_{v(max)} = \sigma_c \qquad /15/$$

$\sigma_{v(max)}$ = tensiunea maximă de vibrare care corespunde pentru $\sin \omega t = 1$ și $\cos \omega t = 0$.

$$\sigma_{v(max)} = AE \qquad /16/$$

Înlocuind în relația 14 se va determina timpul maxim de vibrare pentru care este valabilă relația 14.

$$\sigma = \sigma_c - AE \quad \text{pentru} \quad t = t_v \qquad /17/$$

$$t_v = \frac{1}{K} \ln \frac{AE - \sigma_c + \frac{E\sigma_c}{K\lambda_3} + \frac{K\omega EA}{K^2+\omega^2}}{\frac{E\sigma_c}{K\lambda_3} + \frac{K\omega EA}{K^2+\omega^2} - \sigma_0}$$

Pentru determinarea celorlalți parametrii ai regimului de vibrare (ω și A) se ține seama de condițiile de vibrare.

Pentru determinarea constantei de integrare „C" se pune condiţia ca înainte de începerea vibrării, tensiunea internă să fie egală cu tensiunea iniţială

$t = 0$ corespunde $\sigma = \sigma_0$

ceea ce corespunde $C = \sigma_0$ /13/

Pentru un număr întreg de perioade de vibraţii vom avea: $\sin \omega t = 0$ si $\cos \omega t = 1$

$$\sigma = e^{-kt}\left[\sigma_0 - \frac{E\sigma_c}{K\lambda_3} - \frac{K\omega EA}{K^2 + \omega^2}\right] + \frac{E\sigma_c}{K\lambda_3} + \frac{K\omega EA}{K^2 + \omega^2} \qquad /14/$$

Relaţia 14 este valabilă (conform ipotezei) numai pentru durata de vibrare în care are loc depăşirea limitei de curgere în procesul vibrării, limita de valabilitate va fi exprimată de relaţia

$$\sigma + \sigma_{v(max)} = \sigma_c \qquad /15/$$

$\sigma_{v(max)}$ = tensiunea maximă de vibrare care corespunde pentru $\sin \omega t = 1$ şi $\cos \omega t = 0$.

$$\sigma_{v(max)} = AE \qquad /16/$$

Înlocuind în relaţia 14 se va determina timpul maxim de vibrare pentru care este valabilă relaţia 14.

$\sigma = \sigma_c - AE$ pentru $t = t_v$ /17/

$$t_v = \frac{1}{K} \ln \frac{AE - \sigma_c + \frac{E\sigma_c}{K\lambda_3} + \frac{K\omega EA}{K^2 + \omega^2}}{\frac{E\sigma_c}{K\lambda_3} + \frac{K\omega EA}{K^2 + \omega^2} - \sigma_0}$$

Pentru determinarea celorlalţi parametrii ai regimului de vibrare (ω şi A) se ţine seama de condiţiile de vibrare.

Pulsaţia „ ω " se determină din condiţiile de rezonanţă a obiectului supus vibrării, pentru a avea un transfer maxim de energie.

Amplitudinea relativă „A" trebuie determinată astfel încît la sfîrşitul duratei de vibrare metalul să nu fie supus unei solicitări alternative, adică:

$$\sigma_{v(max)} \leq \sigma \quad ;$$

Punînd condiţia la limită rezultă:

$$\sigma = \sigma_{v(max)} = AE$$

Înlocuind în relaţia 17 rezultă:

$$A = \frac{\sigma}{2E} \qquad /19/$$

La sfîrşitul timpului de vibrare va rezulta tensiunea finală σ_f.

$$\sigma = AE = \frac{\sigma_c E}{2E} = \frac{\sigma_c}{2} = \sigma_f$$

Amplitudinea relativă „A" determinată cu relaţia 19 se consideră constantă pe toată durata vibrării (t_v): Vibrarea cu parametrii ω şi A determinaţi, după depăşirea timpului t_v conduce la solicitarea materialului la un ciclu alternativ nesimetric, care pe măsura scăderii tensiunii interne se apropie de un ciclu simetric.

Solicitarea materialului prin vibrare la o durată mai mare decît timpul determinat (t_v) conduce la scăderea proprietăţilor de rezistenţă a materialului datorită fenomenului de oboseală.

Detensionarea prin vibrare fără deteriorarea structurii materialului prin ecruisare şi oboseală se poate realiza pînă la o tensiune maximă corespunzătoare jumătăţii li-

ritei de curgere a materialului.

În general parametrii E şi σ_c pentru un material dat sînt cunoscuţi, pe cînd λ_2 şi λ_3 trebuiesc determinaţi experimental, sau extraşi din diverse diagrame de comportare dinamică a materialului.

Pentru determinarea parametrului λ_2 se poate folosi curba de relaxare a materialului, iar pentru determinarea parametrului λ_3, se folosesc curbele de variaţie a rezistenţei la deformare la rece, la diferite viteze de deformare.

8.3. TEHNOLOGII DE TRATAMENT TERMIC APLICATE SEMIFABRICATELOR.

8.3.1. Tratamente termice aplicate semifabricatelor obţinute prin turnare.

Semifabricatele obţinute prin turnare prezintă o serie de particularităţi. Astfel, structura materialului metalic este neomogenă din punct de vedere chimic şi neuniformă din punct de vedere fizic, structural etc. Deasemeni, semifabricatele turnate prezintă importante tensiuni interne,(de natură termică, structurală sau mecanică), fiind susceptibile la modificări ale formei şi dimensiunilor sau la fisurare.

Tratamentele termice aplicate semifabricatelor turnate au ca scop: omogenizarea chimică a structurii, regenerarea structurii, detensionarea, îmbunătăţirea prelucrabilităţii prin aşchiere etc. In aceste condiţii tipurile şi variantele tehnologice de tratamente termice aplicate se prescriu pe următoarele grupe de produse:

- lingouri turnate din oţeluri;
- semifabricate turnate din oţeluri;
- semifabricate turnate din fonte;
- lingouri şi semifabricate turnate din aliaje neferoase.

8.3.1.1. Tratamente termice aplicate lingourilor din oţel.

Lingourile din oţel prezintă importante neuniformităţi de natură chimică, structurală şi fizică.

Neuniformitatea chimică şi structurală este dependentă de condiţiile în care se desfăşoară procesul de solidificare. Neuniformitatea chimică se manifestă sub formă de segregaţii dendritice şi segregaţii zonale.

Segregaţia dendritică defineşte neomogenitatea chimică în limitele dendritelor. Specifică oţelurilor aliate, segregaţia dendritică reprezintă fie distribuţia neuniformă a elementelor de aliere şi impurităţilor pe secţiunea cristalelor, fie apariţia unor constituienţi structurali în afară de echilibru. Gradul de segregare dendritică creşte cu procentul de carbon al oţelului, cu gradul de aliere, cu mărimea lingoului etc.

Inlăturarea segregaţiilor dendritice este posibilă prin aplicarea unei recoaceri pentru omogenizare chimică.

Segregaţia zonală caracterizează neomogenitatea chimică în limitele zonelor lingoului şi apare fie sub formă de zone de segregaţie,(segregaţie gravimetrică), fie sub forma "figurilor de segregaţie",(segregaţii de fosfor, sulf, carbon). Segregaţiile zonale nu pot fi eliminate pe calea tratamentelor termice.

Neuniformitatea formei structurale este efectul vitezei de răcire la solidificare: grăunţi foarte fini la exterior, grăunţi columnari în zona de transcristalizare şi grăunţi mari, echiaxiali, în zona centrală. Inlăturarea acestui defect este necesară pentru a imprima uniformitate valorilor caracteristicilor mecanice ale semifabricatelor obţinute ulterior prin deformare plastică.

Neuniformitatea fizică este determinată de întreruperea continuităţii materialului metalic în procesul solidificării şi se prezintă sub formă de retasuri, porozităţi etc. Tratamentele termice nu pot înlătura efectele negative ale defectelor specifice neuniformităţii fizice.

In afară de neomogenităţile prezentate, lingourile din oţel se caracterizează şi prin importante tensiuni interne,(termice şi structurale).

Pentru evitarea fisurării,(la temperatura mediului ambiant sau la încălzirea pentru forjare), se aplică un tratament termic de detensionare.

Pentru micşorarea durităţii în vederea îmbunătăţirii prelucrării prin aşchiere,(decojirea suprafeţelor şi eliminarea unor defecte de suprafaţă), se aplică tratamente termice specifice îmbunătăţirii prelucrabilităţii prin aşchiere.

Din analiza datelor prezentate rezultă că principalele tipuri de tratament termic aplicate lingourilor sînt:

- recoacerea pentru omogenizare;
- recoacerea pentru detensionare;
- recoacerea completă sau subcritică pentru micşorarea durităţii.

Recoacerea pentru omogenizare se aplică în scopul reducerii gradului de segregaţie dendritică la oţelurile aliate din grupele Cr-Ni-Mo; Cr-Mn-Mo; Cr-Mn-Si etc.

Parametrii tehnologici orientativi ai recoacerii de omogenizare aplicată lingourilor din oţel sînt:

- temperatura de încălzire: 1050...1250°C,(valorile superioare se prescriu la încălzire lingourilor din oţeluri aliate şi a celor de dimensiuni mari);
- viteza de încălzire nu se limitează. Lingourile se introduc în cuptorul de tratament termic după stripare cînd temperatura minimă a lingoului este de cca.700°C
- durata menţinerii la temperatura de tratament termic este de 10...50 ore;
- răcirea se execută lent, odată cu cuptorul, cu o viteză de 50...60°C/h, pînă sub A_{r1}.

Pentru a se atenua efectele creşterii grăunţilor de austenită se recomandă ca după menţinerea la temperatura de regim,

(cca.1250°C), temperatura lingoului să fie coborîtă pînă la cea corespunzătoare începutului prelucrării plastice la cald şi, să se execute operaţia de laminare, forjare etc.

<u>Recoacerea pentru detensionare şi tratamente termice pentru îmbunătăţirea prelucrabilităţii prin aşchiere</u>; se aplică la scurt timp după striparea lingourilor şi au ca obiective detensionarea structurii şi micşorarea durităţii.

La stabilirea parametrilor tehnologici se vor lua în considerație următoarele date:

- structura iniţială a straturilor exterioare, natura constituienţilor, proporţia, forma şi distribuţia acestora;
- se va aplica, dacă este posibil, o recoacere subcritică cu efecte pozitive asupra stării tensiunilor remanente şi asupra durităţii,(globulizarea şi coagularea carburilor);
- în cazurile în care se impune obţinerea unei structuri caracterizată prin duritate relativ mică şi uniformitate în distribuţia constituienţilor, se recomandă aplicarea unei recoaceri izoterme cu încălzire la o temperatură superioară punctului A_{c3} şi răcire izotermă la o temperatură cu puţin inferioară punctului A_{r1}.

8.3.1.2. <u>Tratamente termice aplicate semifabricatelor turnate din oţeluri.</u>

Piesele turnate din oţel se grupează după clasa oţelului din care sînt executate:

- piese turnate din oţel de uz general, STAS 600-82: OT 400; OT 450; OT 500; OT 550; OT 600; OT 700.
- piese turnate din oţeluri aliate, STAS 1773-80: T20Mn14; T35Mn14; T40Mn11; T30SiMn12; T40MnNi07; T34MoCr09; T35MoCrNi08.

- piese turnate din oţeluri refractare şi anticorezive, STAS 6855-78: T20MoCr90; T15Cr130; T20cr130; T40SiCr130; T40Cr130; T75Cr280; T70MoCr280; T12TiMoNiCr175; T15NiCr180; T15MoNiCr180; T35NiCr260; T25NiCr250; T20CrNi370; T35CrNi370.

Tipul şi parametrii tehnologici ai tratamentelor termice aplicate pieselor turnate din oţeluri se stabilesc în baza următoarelor date:

- compoziţia chimică a oţelului;
- dimensiunile semifabricatului;
- structura formată în condiţiile concrete de turnare-solidificare şi structura care trebuie obţinută corespunzător prescripţiilor tehnice.

Obiectivele tratamentelor termice aplicate acestei grupe de semifabricate sînt: detensionarea structurii, îmbunătăţirea prelucrabilităţii prin aşchiere, pregătirea structurii în vederea aplicării tratamentului termic final. Realizarea obiectivului propus este posibilă prin aplicarea unei recoaceri subcritice, (detensionare, micşorarea durităţii), sau a unui tratament termic de normalizare şi revenire înaltă,(micşorarea durităţii, finisarea structurii).

Tratamentul termic final,(recoacere completă, normalizare, călire şi revenire, tratamente termochimice), se aplică după operaţia de tăiere a reţelei de turnare şi a bavurilor şi uneori după prelucrări prin aşchiere, urmărindu-se asigurarea condiţiilor tehnice impuse.

8.3.1.2.a. Tratamentul termic al pieselor turnate din oţel carbon.

Pentru piese turnate din oţel carbon se aplică ca tratamente termice primare: recoacerea pentru detensionare şi recoacerea de regenerare.

Recoacerea pentru detensionare se aplică pieselor pentru care caracteristicile mecanice de exploatare pot fi asigurate de

structura de turnare. Tratamentul termic are drept scop diminuarea valorii tensiunilor remanente și asigurarea stabilității, dimensionale. Se prescrie o încălzire la 550...650°C cu o viteză de încălzire de cca.50°C/h. Durata de menținere la temperatura de tratament se adoptă în funcție de mărimea și configurația pieselor,(1 oră/25 mm grosime piesă), valoarea minimă fiind de 2 ore. Răcirea se execută lent cu o viteză de 50...100°C/h pînă la cca.300°C.

Recoacerea de regenerare,(cu transformări de faze în stare solidă), constă în încălzirea semifabricatelor la temperaturi superioare punctului A_{c3},(830...890°C), menținere la temperatura de regim minimum 4 ore și răcire lentă,(odată cu cuptorul), sau în aer,(normalizare). STAS 600-82 prescrie aplicarea unui tratament termic de normalizare urmat de recoacere de detensionare.

Piesele puternic solicitate mecanic, executate din OT 500 ...OT 700, se supun unui tratament termic final de îmbunătățire: călire cu încălzire la 820...840°C și răcire în ulei; revenire cu încălzire la 550...650°C și răcire dirijată pînă la 300°C.

8.3.1.2.b. Tratamentul termic al pieselor turnate din oțel aliat.

Piesele turnate din oțel aliat și supuse în exploatare unor solicitări moderate se detensionează termic: încălzire cu o viteză de cca.50°C/h pînă la 600...640°C, menținere 3...6 ore și răcire lentă, 50...100°C/h. In timpul detensionării termice se realizează și globulizarea parțială a structurii cu efecte pozitive asupra prelucrabilității prin așchiere.

In cazul în care se impun caracteristici de exploatare superioare se prescrie ca tratament termic primar o recoacere cu transformare de fază în stare solidă,(recoacere completă), sau un tratament termic de normalizare. După normalizare se aplică imediat un tratament termic de detensionare.

Tratamentul termic final aplicat pieselor turnate din oţeluri aliate constă dintr-o călire cu răcire în ulei şi o revenire înaltă prin care se realizează şi detensionarea structurii.

8.3.1.2.c. Tratamentul termic al pieselor turnate din oţel aliat refractar-anticoroziv.

Tratamentele termice aplicate acestei grupe de piese turnate se stabilesc în funcţie de compoziţia chimică a oţelului, (conţinut în elemente de aliere şi carbon) şi caracterul structurii formate prin aplicarea tratamentului termic.

Astfel, piesele turnate din oţelurile T15Cr130 şi T20Cr130 sînt supuse unei recoaceri cu încălzire lentă la 800...850°C şi menţinere de durată: 12...14 ore. Răcirea se execută dirijat, odată cu instalaţia de încălzire. Tratamentul asigură detensionarea structurii şi o bună prelucrare prin aşchiere. Tratamentul termic final constă într-o călire cu încălzire la 97o...1050°C, în cazul oţelului T15Cr130 şi la 970...1020°C, în cazul oţelului T20Cr130. După o menţinere de 1...2 ore de la galizarea temperaturii pe secţiunea pieselor se aplică o răcire bruscă,(în apă, pentru T15Cr130, respectiv ulei pentru T20Cr130). După călire se aplică un tratament termic de revenire cu încăzire la 650...720°C şi răcire în aer. Se obţine o structură stabilizată, fără tensiuni interne, rezistentă la coroziune.

In cazul oţelurilor aliate cu crom şi nichel obiectivul tratamentului termic aplicat este obţinerea unei structuri alcătuită din austenită prin punerea în soluţie a precipitatelor de carburi,nitruri şi alte faze a căror prezenţă la marginea cristalelor de austenită micşorează rezistenţa la coroziune intercristalină. Se aplică călirea pentru punere în soluţie cu încălzire la 1030...1070°, pentru oţelurile: T15NiCr180, T15MoNiCr180, sau 1050...1100°C, pentru oţelurile: T25NiCr250, T35NiCr26o,

T20CrNi370, T35CrNi370. După parcurgerea duratei de menţinere: 2...4 ore după egalizarea temperaturii, se aplică o răcire cu viteză mare,(apă, soluţii apoase etc.)

Piesele turnate din oţelurile T20MoCr90 şi T25NiCr250 pot fi supuse unui tratament termic preliminar pentru eliminarea tensiunilor interne şi pentru obţinerea unei structuri cu o bună prelucrabilitate prin aşchiere. Parametrii tehnologici recomandaţi sînt:

- temperatura de încălzire: 800...900°C, pentru T20MoCr90, respectiv 850...900°C, pentru T25NiCr250;
- durata de menţinere: 2...6 ore de la egalizarea temperaturii pe secţiunea semifabricatului;
- viteza de încălzire - răcire: 50...100°C/h.

Pentru a realiza o stabilitate structurală şi dimensională în limitele impuse şi pentru a mări valorile caracteristicilor mecanice de rezistenţă, piesele turnate din oţel T20MoCr90 pot fi supuse unui tratament termic de călire pentru punere în soluţie,(încălzire la 850-900°C cu răcire în apă) şi îmbătrînire, (încălzire la 68o...700°C cu răcire în aer).

8.3.1.2.d. <u>Tratamentul termic al pieselor turnate din oţel austenitic manganos</u>.

Se utilizează, conform STAS 3718-80, următoarele mărci de oţeluri: T105Mn120; T130Mn135; T130MoMn135; T110Mn110; T120Mn110; T100Mn120; T120CrMn130; T100NiMn130; T100MoMn130; T70Mn140.

Tratamentul termic aplicat are ca obiectiv formarea unei structuri austenitice fără carburi, ceea ce asigură caracteristici mecanice deosebite: $R_{0,2}$ = 245...390 N/mm^2; R_m = 780...980 N/mm^2; A_5= 40...55%; KCU = 20...30 J/cm^2; HB = 180...200.

rală) şi durează cca.12 luni, timp în care se reduc tensiunile interne cu cca.50%.

Detensionarea termică se aplică obligatoriu reperelor la care stabilitatea dimensională este deosebit de importantă: blocuri motor, chiulase, cămăşi de cilindru, tamburi de frînă, batiuri pentru maşini unelte etc.

<u>Recoacerea de înmuiere</u> se aplică în cazul în care în structură apare cementită liberă,(cca.5%) sau dacă piesele sînt mici, cu pereţi subţiri şi la solidificare-răcire se generează o structură foarte fin dispersată.

Micşorarea durităţii se realizează prin descompunerea cementitei libere şi a cementitei perlitei în ferită şi grafit. In anumite cazuri se recurge la coagularea şi globulizarea constituienţilor. Tratamentul termic constă dintr-o încălzire la 850...950°C cu o menţinere de 1...5 ore urmată de o răcire foarte lentă,(cca.5...10°C/h), la temperaturi inferioare punctului A_{r1}. Recoacerea subcritică constă într-o încălzire lentă pînă la 680°...700°C, menţinere 1...4 ore şi răcire lentă,(în cuptor), pînă la 280°C şi apoi în aer.

<u>Normalizarea</u> se aplică în scopul perlitizării matricei la piesele care au o structură iniţială cu baza feritică sau ferito-perlitică. Deasemeni se aplică şi în cazul pieselor cu structură de perlită grosolană, urmărindu-se mărirea gradului de dispersie.

Se prescriu următorii parametri tehnologici:

- temperatura de încălzire: 850-950°C, funţie de conţinutul în siliciu,(850-870°C pentru 2,0...2,2% Si şi 900-950°C pentru 2,6...2,8% Si);
- viteza de încălzire: max.100°C/h;

- durata de menţinere: 1...3 ore;
- răcirea se execută în aer liniştit, pentru piese subţiri şi în curent de aer comprimat, pentru piese groase.

După aplicarea tratamentului termic de normalizare duritatea creşte de la cca.160 HB la cca.270 HB.

Călirea şi revenirea; se aplică pieselor de formă simplă executate din fontă cenuşie cu grafit lamelar fin şi structură predominant perlitică cu scopul îmbunătăţirii proprietăţilor mecanice.

Se prescriu următorii parametri tehnologici:
- temperatura de încălzire la austenitizare: 850-930°C;
- încălzirea la temperatura de tratament se va realiza cu o viteză de 30...50°C/h. Se indică aplicarea unei preîncălziri la 500°...600°C cu o menţinere de una oră;
- durata de menţinere: 1...3 ore, în funcţie de duritatea care se urmăreşte a fi obţinută. Sînt necesare încercări experimentale;
- răcirea se face în ulei, fontele caracterizîndu-se printr-o călibilitate relativ mare. Se practică şi răcirea izotermă în băi de săruri topite,(menţinere izotermă 1...3 minute la 200...260°C şi răcire în aer.
- temperatura de încălzire la revenire: 350...400°C, dacă se urmăreşte creşterea rezistenţei la uzare; 450...600°C, dacă se urmăreşte îmbunătăţirea tenacităţii;
- durata de menţinere la revenire: 0,5...2 ore,dar nu mai mare de 4 ore;
- răcirea finală se execută în aer.

Dacă prin condiţiile tehnice se prescrie o duritate ridicată: 50...55 HRC şi rezistenţă la solicitări variabile,se aplică ca tratament termic final călirea superficială şi revenirea joasă.

<u>Tratamente termochimice</u>; se aplică nitrurarea, sulfizarea, alitarea etc., pentru a conferi pieselor executate din fontă cenuşie rezistenţă la uzare, rezistenţă la coroziune, rezistenţă la oxidare, refractaritate etc.

Nitrurarea fontelor cenuşii cu grafit lamelar,(nitrurare în gaz, sau nitrurare ionică), presupune încălzire la 500-580°C într-o atmosferă bogată în azot activ. Durata de menţinere la temperatura de tratament termochimiceste dependentă de grosimea stratului superficial nitrurat,(cca.24 ore pentru 0,4...0,5 mm strat nitrurat). Se aplică la cămăşi de cilindru pentru motoare, arbori cotiţi, axe cu came etc.

Sulfizarea se aplică cu scopul de a îmbunătăţi coeficientul de frecare,(creşte rezistenţa la gripare). Se recurge la tehnologia sulfizării la temperatură joasă,(cca.300°C), sau medie,(550-600°C).

Alitarea se aplică pieselor din fontă care lucrează în condiţii de temperatură ridicată:450...600°C,gaze de ardere etc. Se aplică alitarea în mediu solid cu încălzire la 900-1050°C şi menţinere 2...6 ore.

8.3.1.3.b. <u>Tratamente termice aplicate pieselor turnate din fontă cenuşie cu grafit nodular</u>.

După turnarea pieselor, în funcţie de structură şi de proprietăţile urmărite se aplică următoarele tratamente termice:

- <u>recoacere de detensionare</u>:
  - încălzire la 550-620°C cu o viteză de încălzire de 70-100°C/h;
  - durata de menţinere după egalizarea temperaturii este de 2...3 ore,(cca. 1 oră/25 mm grosime);
  - răcirea se execută lent, cu o viteză de 40-50°C/h, pînă la 280-300°C şi apoi în aer.

- recoacere de grafitizare:

- Dacă se urmărește numai descompunerea cementitei libere și formarea unei structuri de bază perlitice sau perlito-feritice, se practică recoacerea de grafitizare cu încălzire la 900°...950°C, menținere 2-5 ore după egalizarea temperaturii și răcire finală lentă, cu cuptorul;

- Dacă se urmărește obținerea unei structuri feritice se aplică recoacerea de grafitizare feritică: încălzire la 900°...920°C cu menținere 2 ore după egalizarea temperaturii; răcire controlată la 730-740°C cu menținere 2-5 ore la această temperatură; răcire lentă, cu cuptorul pînă la 680-650°C și apoi în aer;

- Dacă piesele nu conțin cementită liberă se recomandă încălzire la 790-800°C, menținere 1 oră/25 mm grosime, răcire lentă pînă la 720-680°C cu menținere de cca.16 ore și răcire de la 600°C în aer.

- normalizare; se aplică cu scopul de a îmbunătăți rezistența la rupere și duritatea pieselor turnate din fontă cu grafit nodular:

  - temperatura de încălzire: 850-950°C;
  - menținere 2-3 ore, după egalizarea temperaturii;
  - răcire în aer.

Observație: după normalizare se aplică recoacerea de detensionare ceea ce determină o creștere importantă a alungirii și a rezilienței. Duritatea și rezistența la rupere își micșorează valorile.

- călire și revenire; se aplică pieselor cu dimensiuni mici și mijlocii, cu forme relativ simple,(role, came etc.), care nu sînt susceptibile la fisurare în timpul răcirii:

  - temperatură de austenitizare: 830-930°C;
  - menținere: 1...3 ore, în funcție de grosimea pieselor;
  - răcire în ulei cald,(60...80°C).

Piesele mici şi de forme complicate se supun unui tratament termic de călire izotermă: încălzire la 850-880°C, menţinere 35...45 min, răcire izotermă în băi de săruri la 300-350°C, cu menţinere cca.60 minute şi răcire finală în aer.

Călirea superficială cu încălzire cu flacără sau prin inducţie se aplică în cazul pieselor solicitate la uzură şi oboseală,(roţi dinţate, cilindri de laminor, arbori cotiţi etc.).

- tratamente termochimice; se aplică nitrurarea, carbonitrurarea la temperatură joasă, sulfizarea ,sulfocarbonitrurarea, alitarea şi cromizarea conferind pieselor cele mai bune proprietăţi de exploatare.

8.3.1.3.c. Tratamente termice aplicate pieselor turnate din fonte maleabile.

Piesele din fontă maleabilă se obţin prin turnare, din fontă albă supusă ulterior unui tratament termic de maleabilizare. Tratamentele termice care se aplică pieselor turnate din fonte maleabile sînt normalizarea, călirea şi revenirea.

Normalizarea are drept scop modificarea structurii,(din structură feritică în structură perlito-feritică) şi îmbunătăţirea caracteristicilor mecanice. Parametrii tehnologici ai tratamentului termic sînt:

- încălzire la 860...880°C;
- menţinere la temperatura de regim: 1...2 ore;
- răcire în aer, eventual aer ventilat.

Călirea şi revenirea se aplică cu scopul de a se obţine un grupaj de proprietăţi mecanice impuse prin condiţii tehnice. Pentru a se obţine caracteristicile mecanice dorite, temperatura de austenitizare la călire şi durata de menţinere trebuie să asigure dizolvarea în austenită a unui conţinut suficient de carbon. Pentru piesele din fontă maleabilă perlitică se recomandă încăl-

zire la 800-850°C, menţinere 1...2 ore şi răcire în ulei.

Parametrii tehnologici ai tratamentului termic de revenire se stabilesc pe cale experimentală, în funcţie de proprietăţile mecanice cerute, utilizînd în acest scop şi diagrame ce stabilesc interdependenţa proprietăţi mecanice-temperatură de revenire.

8.3.1.4. Tratamente termice aplicate lingourilor şi pieselor turnate din aliaje neferoase.

8.3.1.4.a. Tratamentul termic al lingourilor din aliaje pe bază de cupru.

Datorită condiţiilor în care se desfăşoară procesul de solidificare, lingourile turnate din aliaje pe bază de cupru prezintă o structură neuniformă dimensional şi neomogenă chimic. Sînt afectate negativ caracteristicile tehnologice de deformare plastică: plasticitate redusă ca rezultat al segregaţiilor dendritice, microfisuri şi crăpături, instabilitate structurală ca rezultat al existenţei unor faze secundare metastabile,(generate prin segregare).

Lingourile din aliaje pe bază de cupru se supun unei recoaceri pentru omogenizare:

Aliaj	Temperatura de început de topire, în °C.	Recoacere de omogenizare	
		Temperatura de încălzire, în °C	Durata minimă de menţinere, h
Bronzurile cu 8...12% Sn	840 - 860	700 - 750	1,0 - 2,0
Aliaje Cu -Ni	1100 - 1200	800 - 950	1,0 - 2,0
Aliaje Cu-Ni-Zn	850 - 950	750 - 800	0,5 - 2,0
Bronzuri cu 10-12% Al	1030 - 1090	800 - 950	1,0 - 2,0

8.3.1.4.b. Tratamentul termic al lingourilor pe bază de aluminiu.

Lingourile din aliaje pe bază de aluminiu au trăsături comune cu lingourile pe bază de cupru. Si în acest caz se aplică recoaceri pentru omogenizare care au ca obiective înlăturarea sau atenuarea microsegregaţiilor intradendritice şi dizolvarea fazelor intermetalice fragile: Al_2CuMg,(faza S); Mg_2Si; $Al_3Mg_2Zn_2$, faza T), segregate între ramurile dendritelor.

Aliajul	Temperatura de început de topire, în °C.	Recoacere pentru omogenizare	
		Temperatura de încălzire, în °C	Durata minimă de menţinere
Duraluminiu	506	470 - 495	8 - 36 ore
Aliaj Al-Zn-Mn-Cu	476	440 - 470	20 - 25 ore
Aliaj Al-Mn	654	600 - 640	28 - 40 ore

8.5.1.4.c. Tratamente termice aplicate pieselor turnate din alame şi bronzuri.

In funcţie de compoziţia chimică a aliajelor, tratamentele termice uzuale sînt :recoacerea de omogenizare şi recoacerea de detensionare. Recoacerile cu transformări de fază în stare solidă aplicabile pieselor turnate din aliaje neferoase pe bază de cupru produc modificări neimportante ale caracteristicilor mecanice.

Bronzurile cu beriliu,(max.2% Be), se supun unui tratament termic de călire pentru punere în soluţie urmat de îmbătrînire. Călirea pentru punere în soluţie necesită încălzire la 780-800°C, menţinere la temperatura de regim pentru omogenizarea soluţiei α şi răcire în apă. Se obţine o soluţie solidă suprasaturată α cu valori reduse pentru caracteristicile de rezistenţă,(duritate 100 HB şi R_m = 50 daN/mm^2). Tratamentul termic de îmbătrînire se execută cu încălzire la 300-350°C, menţinere 3...5 ore şi răcire finală în aer. Se produce o precipitare a particulelor de CuBe ceea ce determină creşterea durităţii la

350-400 HB şi a rezistenţei de rupere la tracţiune la 130-150 daN/mm^2.

Bronzurile cu aluminiu,(min.10% Al; 4% Fe; 1%Mn; 0,5% Si), pot fi supuse călirii şi revenirii. Incălzirea la călire se face la temperatura de 800°C cu o menţinere de 1...2 ore. Răcirea se execută în apă. Temperatura optimă de încălzire la revenire este 400°C. Pentru obţinerea unor caracteristici superioare de tenacitate temperatura de încălzire creşte la 650°C.

8.3.1.4.d. Tratamente termice aplicate pieselor turnate din aliaje pe bază de aluminiu.

Tratamentele termice aplicate pieselor turnate din aliaje pe bază de aluminiu se diferenţiază de la un tip de aliaj la altul,(depind de natura principalului element de aliere). Pe de altă parte tratamentele termice aplicate acestei grupe de piese depind de procedeul de semifabricare: turnare în forme temporare, turnare în cochilă, turnare sub presiune.

In funcţie de compoziţia chimică a aliajului, de condiţiile de turnare şi prescripţiile privind valorile caracteristicilor mecanice, se pun în evidenţă mai multe variante tehnologice de tratament termic:

- Imbătrînire fără călire pentru punere în soluţie,(T 1). Se aplică pieselor turnate în cochilă şi supuse unor solicitări medii.

- Călire pentru punere în soluţie urmată de îmbătrînire naturală,(T 2). Se aplică pieselor solicitate complex în exploatare şi care trebuie să aibă valori ridicate pentru caracteristicele de plasticitate.

- Călire pentru punere în soluţie urmată de îmbătrînire parţială,(T 3). Comparativ cu varianta T-2 scad valorile caracteristicilor de plasticitate; se indică a se aplica pieselor puternic solicitate static şi dinamic.

- Călire pentru punere în soluţie urmată de îmbătrînire completă pentru atingerea durităţii maxime,(T 4). Se aplică pieselor ce lucrează în condiţii de solicitări statice mari.

- Călire pentru punere în soluţie şi "revenire" pentru stabilizarea structurală şi dimensională,(T 5). Se obţine o structură de echilibru prin descompunerea soluţiei solide suprasaturate, ceea ce asigură stabilitate structurală şi dimensională pieselor supuse încălzirii în exploatare.

Ţinînd seama de particularităţile structurilor de turnare, neomogenitate chimică şi structurală, structură grosolană etc., se indică următorii parametri tehnologici:

- temperatura de încălzire în vederea călirii pentru punere în soluţie se adoptă, conform diagramelor de echilibru, la limita superioară admisă. Temperatura se menţine într-un interval foarte strîns $\pm 3^{\circ}C...\pm 5^{\circ}C$;
- durata de menţinere: 2...20 ore,(se recomandă 4...5 ore);
- răcirea se face în apă încălzită la 50...90°C. Intervalul de timp dintre momentul scoaterii piesei din cuptor şi trecerea lor în mediul de răcire trebuie să fie pînă la cîteva secunde.
- temperatura de încălzire la îmbătrînire se menţine constantă în limite foarte restrînse: $\pm 3^{\circ}C...\pm 5^{\circ}C$.
- răcirea după îmbătrînire se face în aer.

8.3.2. Tratamente termice aplicate semifabricatelor forjate.

Avînd în vedere condiţiile în care se desfăşoară deformarea plastică la cald, se recomandă ca toate piesele după terminarea forjării să fie supuse unei răciri controlate şi unui tratament termic.

Tratamentele termice aplicate semifabricatelor forjate vor îndeplini următoarele obiective:

- eliminarea sau diminuarea tensiunilor reziduale;
- anularea defectelor de natură chimică: segregaţii, fulgi;
- asigurarea unei prelucrabilităţi prin aşchiere corespunzătoare;
- asigurarea proprietăţilor mecanice impuse prin condiţiile tehnice.

8.3.2.1. Tensiuni în semifabricate forjate.

In timpul deformării plastice prin forjare materialul metalic se răceşte. Plasticitatea ridicată şi reducerea vitezei de răcire prin efectul termic al deformării plastice diminuează valorile tensiunilor create în procesul răcirii. Indiferent de compoziţia chimică a oţelului şi dimensiunile semifabricatului tensiunile generate în această etapă nu afectează integritatea materialului.

Tensiunile termice din semifabricate forjate sînt rezultatul răcirii neuniforme pe secţiuni. Valorile acestor tensiuni sînt cu atît mai ridicate cu cît viteza de răcire este mai mare, cu cît semifabricatul este mai gros şi cu cît coeficientul de conductibilitate termică al metalului este mai mic.

Evoluţia stării tensiunilor de natură termică,(v.fig. 279), indică în prima parte a răcirii, după terminarea deformării plastice la cald, generarea unor tensiuni de întindere,(notate cu semnul (+)), în zona periferică, respectiv tensiuni de compresie,(semnul (-)), în zona centrală. In timp, datorită contracţiei zonei centrale mai calde şi imposibilităţii de deformare a zonei periferice, se creează tensiuni de întindere în zona centrală a semifabricatului şi de compresie la periferia acestuia.

Deoarece schimbarea semnului tensiunilor se produce la temperaturi sub 300°C, cînd este posibilă şi fisurarea piesei, răcirea trebuie încetinită imediat după terminarea forjării şi

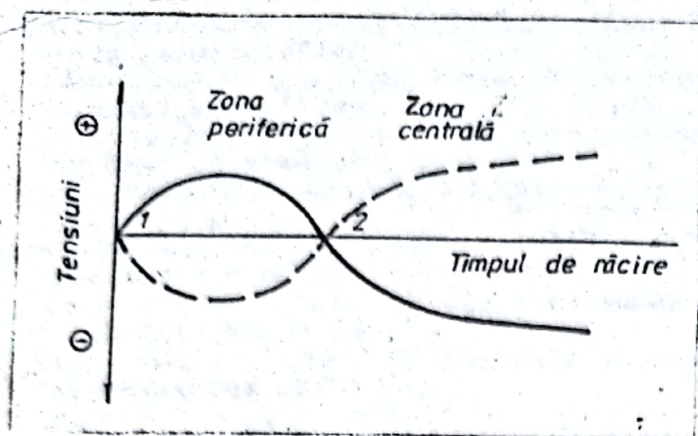


Fig.279. Evoluţia tensiunilor termice în secţiunea unei piese răcite după forjare.

menţinută în regim controlat.

In timpul deformării plastice la cald se desfăşoară la nivelul materialului metalic două procese opuse: ecruisarea şi recristalizarea. Ecruisarea determină formarea unor tensiuni interne apreciabile. Aceste tensiuni se amplifică odată cu micşorarea temperaturii la care are loc deformarea plastică. Procesul de recristalizare înlătură efectele ecruisării dar este afectat în sens negativ de scăderea temperaturii materialului metalic.

In anumite condiţii, în materialul metalic supus deformării plastice se formează tensiuni remanente de deformare plastică. Mărimea acestor tensiuni depinde de condiţiile de deformare plastică,(viteză de deformare plastică, coreiaj etc.) şi de temperatură, valoarea lor fiind cu atît mai mare cu cît viteza şi gradul de deformare sînt mai mari şi cu cît temperatura de deformare este mai joasă.

Evoluţia stărilor tensionale la răcirea pieselor forjate cu tensiuni reziduale de deformare plastică este prezentată în fig.280. Si în acest caz reducerea vitezei de răcire imediat după terminarea forjării,(intervalul 1-2), contribuie la reducerea tensiunilor remanente la sfîrşitul răcirii.

Dacă valoarea tensiunilor remanente depăşeşte la un moment dat valoarea limitei de curgere a materialului metalic se pierde integritatea semifabricatului.

După deformarea plastică la cald, în timpul răcirii, în materialul metalic se pot produce transformări de fază. Ne-

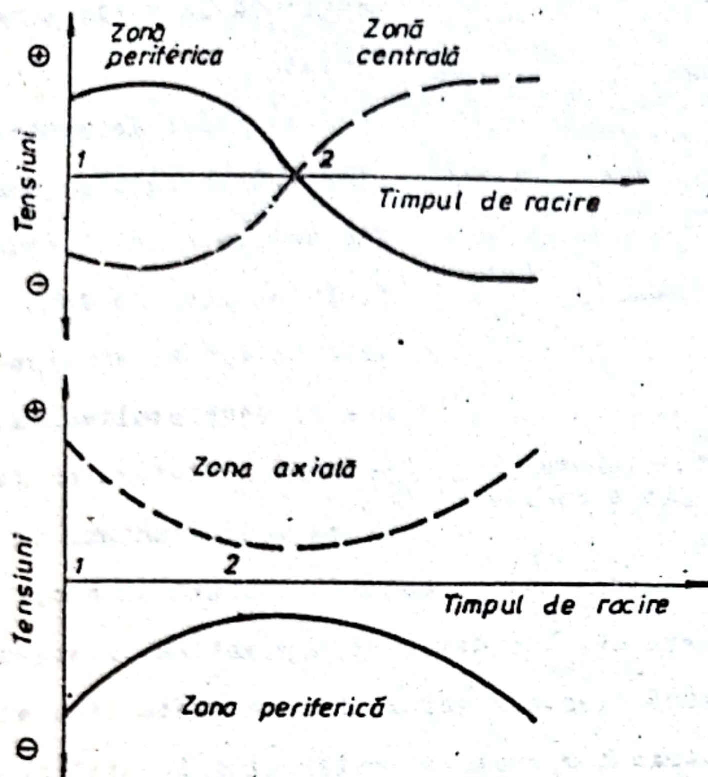


Fig.280. Evoluţia tensiunilor interne la răcirea pieselor forjate cu tensiuni reziduale de deformare plastică.

uniformitatea proceselor de transformare de fază pe secţiunea pieselor supuse răcirii cît şi variaţiile de volum specific ale constituenţilor generează tensiuni structurale. Valoarea acestor tensiuni este cu atît mai mare cu cît gradul de subrăcire este mai mare, respectiv cu cît structura nou formată este mai îndepărtată de structura de echilibru. Tensiunile de natură structurală se sumează vectorial cu tensiunile de natură termică sau mecanică şi pot afecta integritatea materialului metalic.

Observaţii:

- tensiunile de natură termică, structurală sau mecanică, (de deformare plastică), generează o stare de tensiuni remanente;

- în exploatare, tensiunile remanente se sumează cu tensiunile de lucru. Există situaţii cînd se depăşeşte limita de curgere sau rupere a metalului afectînd integritatea semifabricatului;

- starea suprafeţelor şi în principal existenţa concentratorilor de eforturi afectează distribuţia tensiunilor;

- calitatea slabă a oţelului: neomogenitatea chimică, retasuri,

microporozităţi, sufluri, incluziuni etc., favorizează apariţia fisurilor prin concentrarea eforturilor interne;

- în semifabricatele forjate pot apare fisuri la temperatura mediului ambiant, în unele cazuri fiind necesară o intervenţie exterioară,(polizare, vibrare, măsurarea durităţii etc.);

- efectele negative ale tensiunilor remanente pot fi diminuate sau anulate dacă semifabricatele forjate sînt supuse unui tratament termic de detensionare.

8.3.2.2. Defecte tip fulgi în semifabricate forjate.

Fulgii constituie o categorie de defecte foarte periculoase ce apar la răcirea oţelurilor deformate plastic care conţin procente ridicate de gaze,(în special hidrogen). Apariţia fulgilor este favorizată de grosimea sau diametrul mare al pieselor, de gradul de aliere al oţelului, de viteza de răcire, de starea de tensiuni etc.

La nivelul aliajelor fier-carbon hidrogenul atomic formează cu fierul soluţii solide de interstiţie. Datorită dimensiunilor sale, hidrogenul se caracterizează printr-o viteză de difuzie foarte mare, putînd să părăsească fierul la temperaturi puţin superioare,(cca.150...200°C).

Solubilitatea hidrogenului în oţeluri este influenţată de elementele de aliere. Dintre elementele de aliere Ni, Mn, Cr şi Nb măresc solubilitatea hidrogenului în fier odată cu creşterea conţinutului lor în oţel,(v.fig.281)

Conţinutul de hidrogen din oţeluri depinde şi de procedeul de elaborare folosit:

- oţel elaborat în convertizor Bessemer: 4,5 cm^3 H_2/100 g;
- oţel elaborat în cuptor Martin acid: 5,25cm^3 H_2/100 g;
- oţel elaborat în cuptor Martin bazic: 7,90cm^3 H_2/100 g;
- oţel elaborat în cuptor electric bazic:6,70cm^3 H_2/100 g.

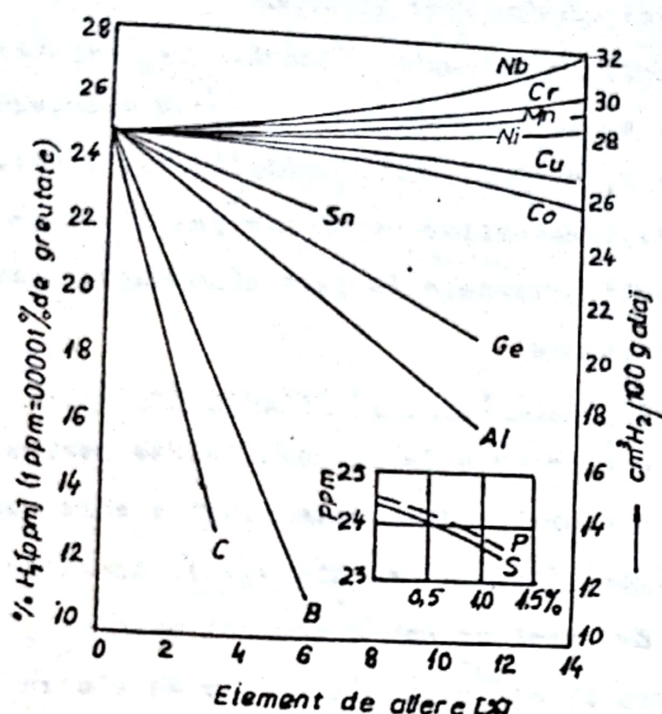


Fig.281. Solubilitatea hidrogenului în aliaje fier-carbon-elemente de aliere la temperatura de 1590°C şi presiunea de 1 at.

Degazarea oţelurilor şi turnarea în vid pot asigura un conţinut de 1,2...1,8 cm^3 H_2/100 g oţel.

In cazul semifabricatelor forjate, odată cu scăderea temperaturii, hidrogenul în exces difuzează spre exterior sau se deplasează în zonele cu porozitate, incluziuni, segregaţii etc., unde formează molecule, ($2H \rightarrow H_2$).

Hidrogenul molecular rezultat are un diametru de cca.10^5 ori mai mare decît hidrogenul atomic şi nu mai poate difuza prin materialul metalic exercitînd presiuni uriaşe, ceea ce poate profoca fisurarea semifabricatului forjat. Datorită faptului că formarea fulgilor se produce la temperaturi sub 200°C cînd plasticitatea materialului este foarte redusă, ruperea este fără deformaţii.

Micşorarea conţinutului în hidrogen din semifabricatele forjate şi implicit evitarea formării fulgilor este posibilă prin aplicarea unui tratament termic complex de dehidrogenare, (recoacere de dehidrogenare).

8.3.2.3. Tratamente termice primare aplicate semifabricatelor forjate.

Tratamentele termice primare aplicate semifabricatelor forjate se diferenţiază pe grupe dimensionale: piese forjate

mici şi piese forjate mari.

8.3.2.3.a. Tratamente termice primare pentru piese forjate mici.

In general, se consideră piese mici, piesele al căror diametru sau grosime nu depăşeşte 200 mm. Sînt piese puţin susceptibile la apariţia fulgilor sau a tensiunilor de natură termică, structurală etc.

Tratamentele termice primare adoptate vor lua în considerație următoarele observaţii:

- Dacă sfîrşitul operaţiei de forjare se produce la o temperatură cu puţin superioară punctului cinetic A_{r3} şi dacă conţinutul în carbon al oţelului nu depăşeşte 0,4%, prin răcire în aer liber se obţin constituenţi structurali corespunzători din punctul de vedere al formei, dimensiunilor şi distribuţiei.
- In cazul oţelurilor carbon cu conţinut de carbon peste 0,4% şi a celor aliate, răcirea în aer liber determină obţinerea unor constituenţi structurali cu grad ridicat de dispersie, greu de prelucrat prin aşchiere. Se recomandă aplicarea unei recoaceri subcritice în scopul globulizării perlitei, micşorării durităţii şi reducerii tensiunilor interne.
- Dacă sfîrşitul deformării plastice se produce la temperaturi cu mult superioare lui A_{r3}, structura formată prin răcire în aer liber păstrează efectele supraîncălzirii la deformare plastică,(structură Widmanstätten). Semifabricatele forjate se supun în acest caz unui tratament de recoacere completă sau unui tratament termic de normalizare urmat de revenire înaltă.
- Dacă deformarea plastică s-a terminat în domeniul de temperaturi A_{r3}- A_{r1} ferita proeutectoidă din oţelurile hipoeutectoide, precum şi austenita netransformată prezintă o orientare pe direcţia principală a deformării. La răcirea în aer a acestor oţeluri rezultă o structură în benzi. Pentru ameliorarea caracteristicilor mecanice este necesară aplicarea unei recoaceri

de regenerare completă.

- Tratamentele termice primare indicate a se aplica semifabricatelor forjate executate din oţeluri hipereutectoide au drept scop obţinerea unei structuri de perlită globulară şi cementită globulară fină. Se prescrie: recoacere subcritică, (pentru oţeluri eutectoide), recoacere incompletă sau recoacere pendulară de globulizare.

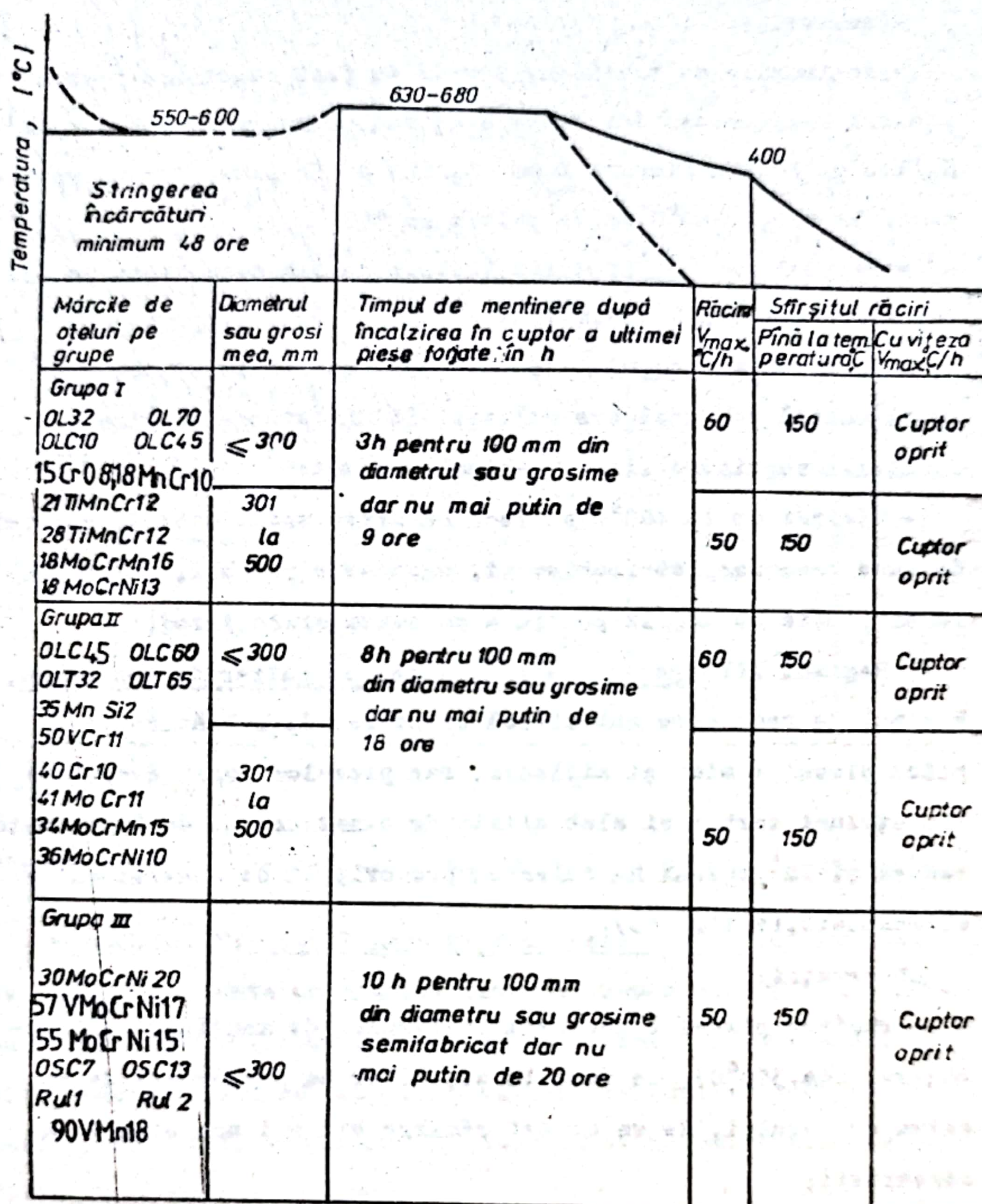
8.3.2.3.b. Tratamente termice primare aplicate semifabricatelor mari forjate.

Aplicate unor semifabricate forjate cu grosimi de peste 200 mm executate, în general, din oţeluri aliate, tratamentele termice primare au drept scop reducerea la minimum a stării tensiunilor remanente şi dehidrogenarea oţelului în scopul evitării formării fisurilor.

In baza datelor prezentate în literatura tehnică de specialitate se diferenţiază următoarele soluţii tehnologice:

- Regimul I: răcire dirijată după forjare. Semifabricatele se aşează în gropi de răcire şi se acoperă cu materiale termoizolante mărunte: nisip uscat, cenuşă etc. Se recomandă ca semifabricatele să fie lipsite de tensiuni de deformare plastică, iar aşezarea lor în groapă să se facă pe suporţi speciali .Durata răcirii unor asemenea piese este de cîteva zile. Există riscul fisurării semifabricatelor şi, în consecinţă, răcirea lentă după forjare se recomandă numai pentru piese mijlocii, de complexitate redusă, executate din oţeluri carbon şi slab aliate turnate în vid.

- Regimul II: recoacere subcritică. Se poate aplica pieselor forjate mijlocii executate din oţeluri carbon şi slab aliate de construcţii şi oţeluri carbon şi slab aliate de scule,(v.fig. 282).



Mărcile de oţeluri pe grupe	Diametrul sau grosimea, mm	Timpul de menţinere după încălzirea în cuptor a ultimei piese forjate, în h	Răcire V_{max} °C/h	Sfîrşitul răcirii	
				Pînă la temperatura °C	Cu viteza V_{max} °C/h
Grupa I OL32 OL70 OLC10 OLC45 15Cr08, 18MnCr10	≤300	3h pentru 100 mm din diametrul sau grosime dar nu mai puţin de 9 ore	60	150	Cuptor oprit
21TiMnCr12 28TiMnCr12 18MoCrMn16 18MoCrNi13	301 la 500		50	150	Cuptor oprit
Grupa II OLC45 OLC60 OLT32 OLT65 35MnSi2	≤300	8h pentru 100 mm din diametru sau grosime dar nu mai puţin de 16 ore	60	150	Cuptor oprit
50VCr11 40Cr10 41MoCr11 34MoCrMn15 36MoCrNi10	301 la 500		50	150	Cuptor oprit
Grupa III 30MoCrNi20 57VMoCrNi17 55MoCrNi15 OSC7 OSC13 Rul1 Rul2 90VMn18	≤300	10 h pentru 100 mm din diametru sau grosime semifabricat dar nu mai puţin de 20 ore	50	150	Cuptor oprit

Fig.282. Ciclul tratamentului termic de recoacere subcritică aplicat semifabricatelor mari forjate cu specificaţii pentru parametrii tehnologici pe grupe de oţeluri.

Observații:

- regimurile de tratament termic au fost stabilite pentru oțeluri nedegazate, dar cu un conținut de hidrogen sub 5,0 cm^3 H_2/100 g. Pentru fiecare 1 cm^3 H_2/100 g în plus, durata menținerii la 630...680°C se va majora cu 50%;

- regimul care se prescrie trebuie să fie acoperitor pentru fiecare piesă din încărcătură;

- se recomandă ca utilaje de tratament termic cuptoare cu vatră mobilă sau cuptoare adînci, cît mai etanșe, regimul de încălzire-menținere fiind realizat automat;

- răcirea de la 400°C se face cu arzătoarele stinse, șuberele de gaze arse complet închise și, dacă este posibil, ușa cuptorului lipită cu argilă pentru a se evita orice tiraj.

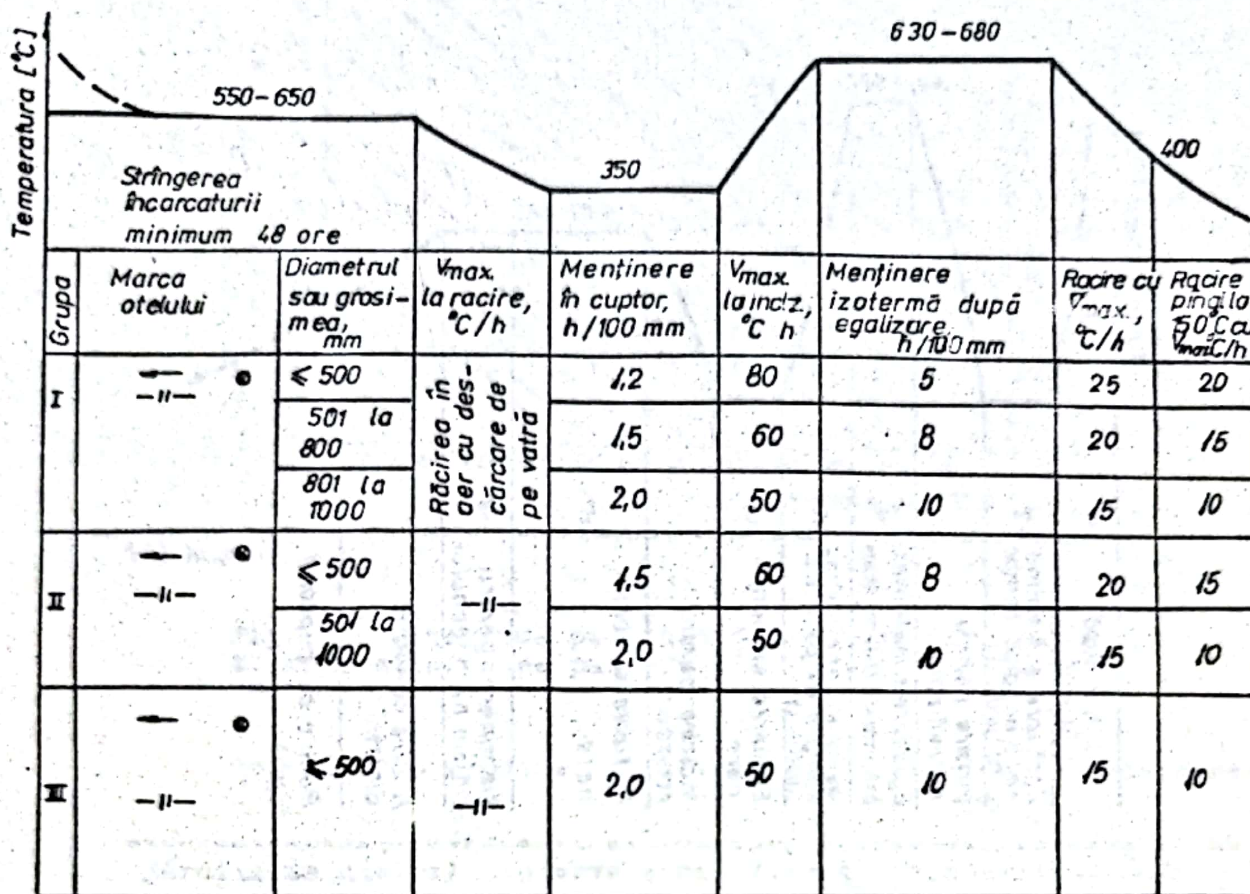
- Regimul III: recoacere subcritică cu palier de subrăcire. Regimul de recoacere subcritică cu palier de subrăcire se aplică pieselor mici și mijlocii, rar pieselor mari, executate din oțeluri carbon și slab aliate de construcții, de importanță redusă și în general nu celor cu prescripții de control cu ultrasunete, (v.fig.283).

Observații:

- răcirea pieselor înaintea palierului de menținere la subrăcire, (cca.350°C), se face în aer liber cu descărcare de pe vatra cuptorului. Se va urmări răcirea cît mai uniformă a încărcăturii;

- piesele deformate în timpul răcirii se supun redresării avînd grijă ca temperatura la sfîrșitul redresării să nu scadă sub 450°C;

- temperatura palierului de menținere izotermă, (630...680°C), trebuie să asigure difuzia hidrogenului și globulizarea constituenților obținuți la răcire.



Grupa	Marca oţelului	Diametrul sau grosimea, mm	Vmax. la racire, °C/h	Mentinere în cuptor, h/100 mm	Vmax. la incălz., °C h	Menţinere izotermă după egalizare h/100 mm	Racire cu Vmax., °C/h	Racire pînă la 50°C cu Vmax °C/h
I	— ●	≤ 500	Răcirea în aer cu descărcare pe vatră	1,2	80	5	25	20
	—"—	501 la 800		1,5	60	8	20	15
		801 la 1000		2,0	50	10	15	10
II	— ●	≤ 500	—"—	1,5	60	8	20	15
	—"—	501 la 1000		2,0	50	10	15	10
III	— ● —"—	≤ 500	—"—	2,0	50	10	15	10

● Vezi regimul II

Fig.283. Regimul de recoacere subcritică cu palier de subrăcire.

- Regimul IV: <u>normalizare şi recoacere subcritică</u>. Tratamentul satisface toate condiţiile tehnice impuse pentru semifabricate forjate mari: redresarea pieselor deformate la răcire, creşterea gradului de dispersie al constituenţilor, dehidrogenarea structurii. Efectuarea tratamentului necesită utilaje şi instalaţii mai costisitoare .

După forjare piesele se răcesc în aer liniştit pînă la 400°C, pe toată lungimea, fără ca părţile subţiri să se răcească sub 350°C. Pentru a se evita răcirea părţilor subţiri sub 350°C părţile subţiri ale piesei se învelesc cu pînză de azbest.

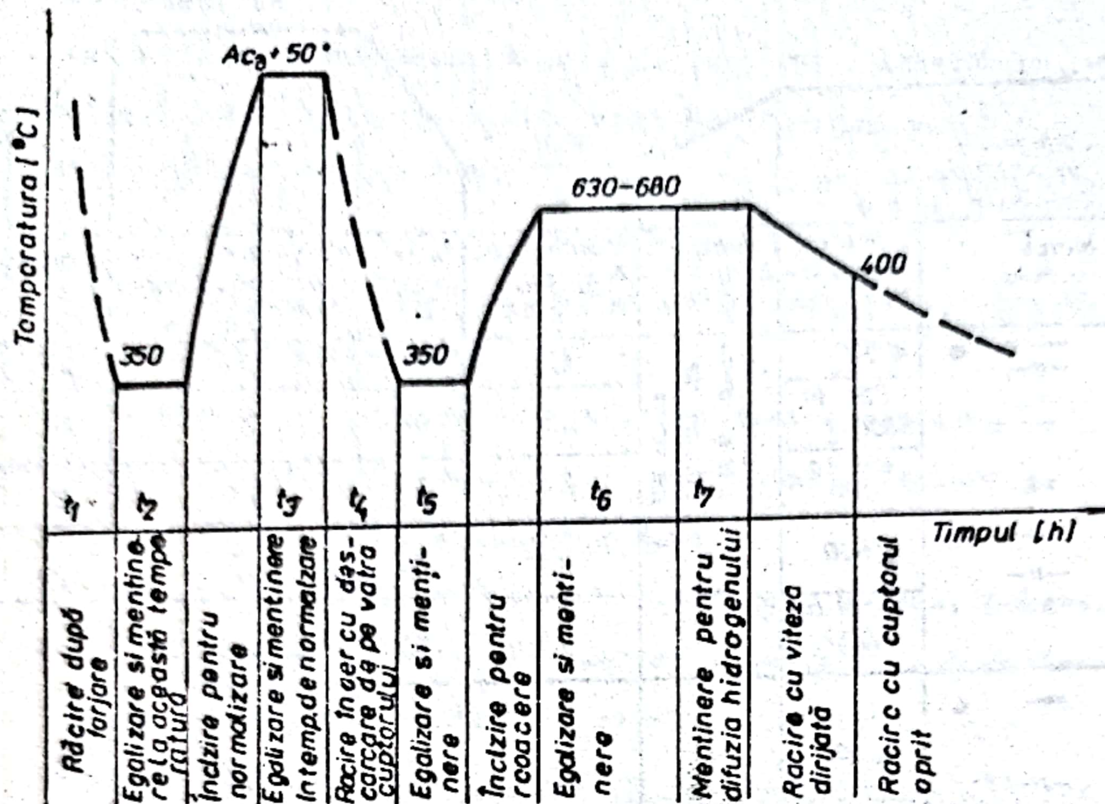


Fig.284. Ciclul tratamentului termic de normalizare şi recoacere subcritică aplicat semifabricatelor forjate mari.

Cînd suprafeţele zonelor de grosime maximă ating temperaturi de cca.400°C, piesele se încarcă în cuptoare cu temperatura de 350°C şi se menţin pe acest palier termic timpul t_2 stabilit după nomograma din fig.285.

Pentru semifabricatele executate din oţeluri aliate cu elemente care favorizează dizolvarea hidrogenului şi stabilizează austenita, la durata t_2 se adaugă cca.8 ore pentru a mări siguranţa că transformarea s-a încheiat.

Incălzirea pentru austenitizare la normalizare se execută cu viteza maximă admisă rezultată din condiţia evitării deformării şi fisurării la încălzire.

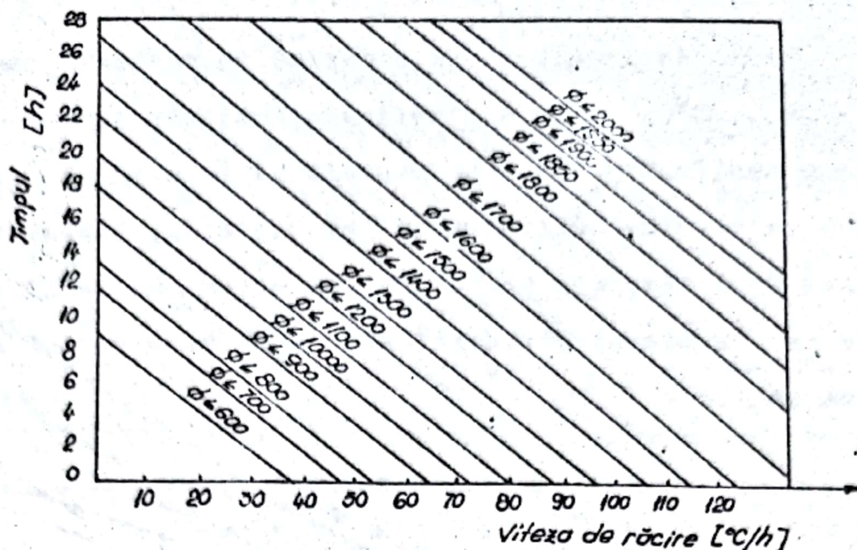


Fig.285. nomogramă pentru determinarea timpului t_2 de menţinere pe palierul de răcire după forjare.

Se prescriu următoarele valori ale vitezelor de încălzire:

Mărcile de oţeluri pe grupe	Intervale de temperaturi	Viteza de încălzire, °C/h.				
		Ø200 Ø600	Ø601 1000	Ø1001 Ø1200	Ø1201 Ø1400	Ø1400 Ø1700
Grupa I OL32 ... OL70 OLC10 ... OLC45 15Cr08 ; 18MnCr10 21TiMnCr12 28TiMnCr12 18MoCrMn16 18MoCrNi13	Pînă la temperatura de 300°C	maximă admisă				
	300° - 850°	max.	80	50	25	25
Grupa II OLC50...OLC60 OLT32...OLT65 40Cr10; 41MoCr11; 34MoCrMn15; 36MoCrNi10; 30MoCrNi20 oţeluri pentru motoare.	Pînă la 250° - 300°	maximă admisă				
	300° - 750°	100	50	35	25	20
Oţeluri carbon de scule; Oţeluri de scule pentru preluorări la cald; Oţeluri de rulmenţi; Oţeluri pentru cilindri de laminor.	Pînă la temperatura de 200°C	maximă admisă				
	200° - 700°	80	35	25	20	15

Durata de menţinere pe palierul de austenitizare, (A_{c3} + 50...80°C), t_3, se stabileşte analitic sau pe bază de nomograme,(v.fig.286). La piesele de importanţă deosebită: rotoare de turbine, cilindri de laminor etc., timpul t_3 determinat după metodele prezentate anterior se amplifică cu 8...10 ore în scopul obţinerii prin încălzire a unei austenite omogenă chimic.

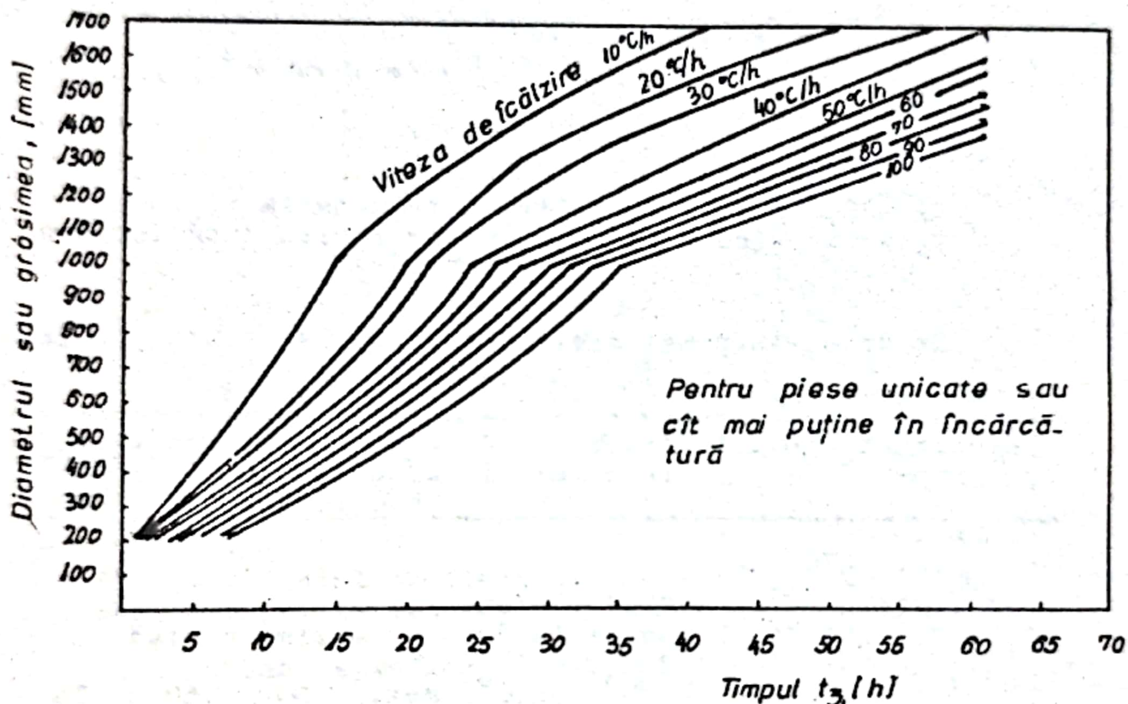


Fig.286. Nomogramă pentru stabilirea duratei de menţinere, t_3, la normalizare.

Răcirea pentru normalizare se face prin descărcarea pieselor de pe vatra cuptorului pe suporţi de răcire. Se va asigura o răcire omogenă în toată masa piesei fără ca pereţii cei mai subţiri să-şi micşoreze temperatura sub 450...500°C, (minim.350°C). In această etapă se poate executa şi redresarea avîndu-se grijă ca la sfîrşitul acestei operaţii temperatura piesei să nu coboare sub 450°C.

După răcire, piesele se încarcă în cuptoare cu tempera-

tura de 350°...360°C şi se asigură un palier de menţinere, t_5, a cărui valoare se determină în funcţie de durata de răcire la normalizare, t_4,(v.fig.287).

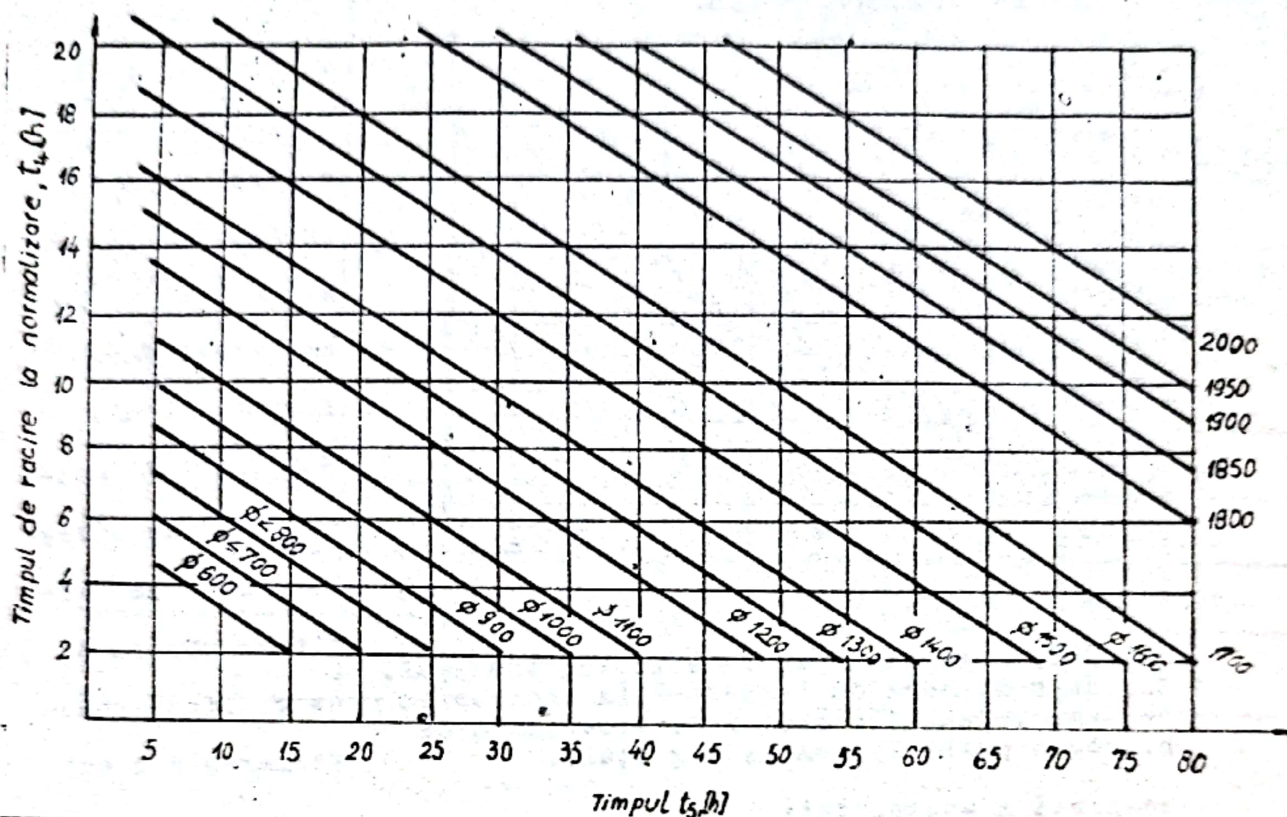


Fig.287. Nomogramă pentru stabilirea timpului de menţinere, t_5, în funcţie de durata de răcire la normalizare, t_4.

La timpul t_5 pentru piesele de mare importanţă se adaugă minim 8 ore pentru a se asigura transformarea completă a austenitei.

Recoacerea subcritică se execută, în general, în condiţiile prescrise la regimurile II şi III:

- temperatura de încălzire: 630°...680°C
- viteza de încălzire limitată;
- durata de menţinere se adoptă în funcţie de grupa oţelului şi dimensiunile semifabricatului,(v.fig.282 şi fig.283). La piesele de importanţă deosebită se adaugă cca.16 ore, dacă conţinutul în hidrogen nu depăşeşte 2,25 cm^3 H_2/100 g, sau timpul

t_7,(v.fig.284 şi fig.288), dacă conţinutul real de hidrogen este mai mare;

- răcirea se execută dirijat pînă la 400°C, cu o viteză de răcire de 2,5...2e°C/h.

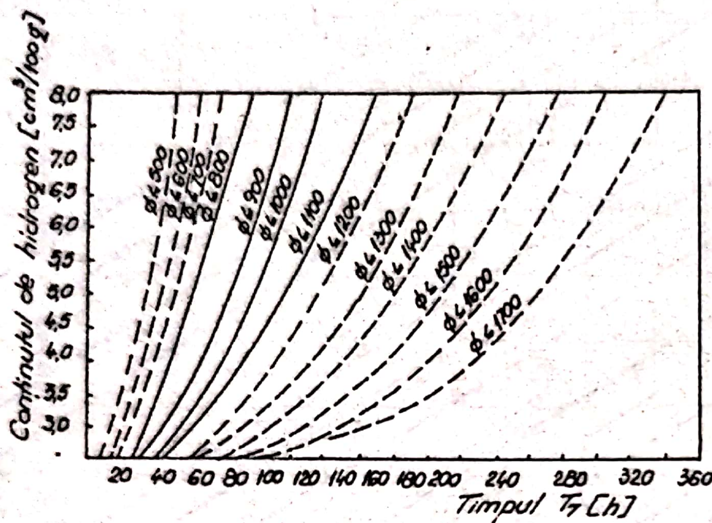


Fig.288. Nomogramă pentru calculul timpului, t_7, de menţinere suplimentară la recoacerea de dehidrogenare a oţelurilor,(conţinut de hidrogen peste 2,5 cm³/100 g oţel).

Observaţii:.

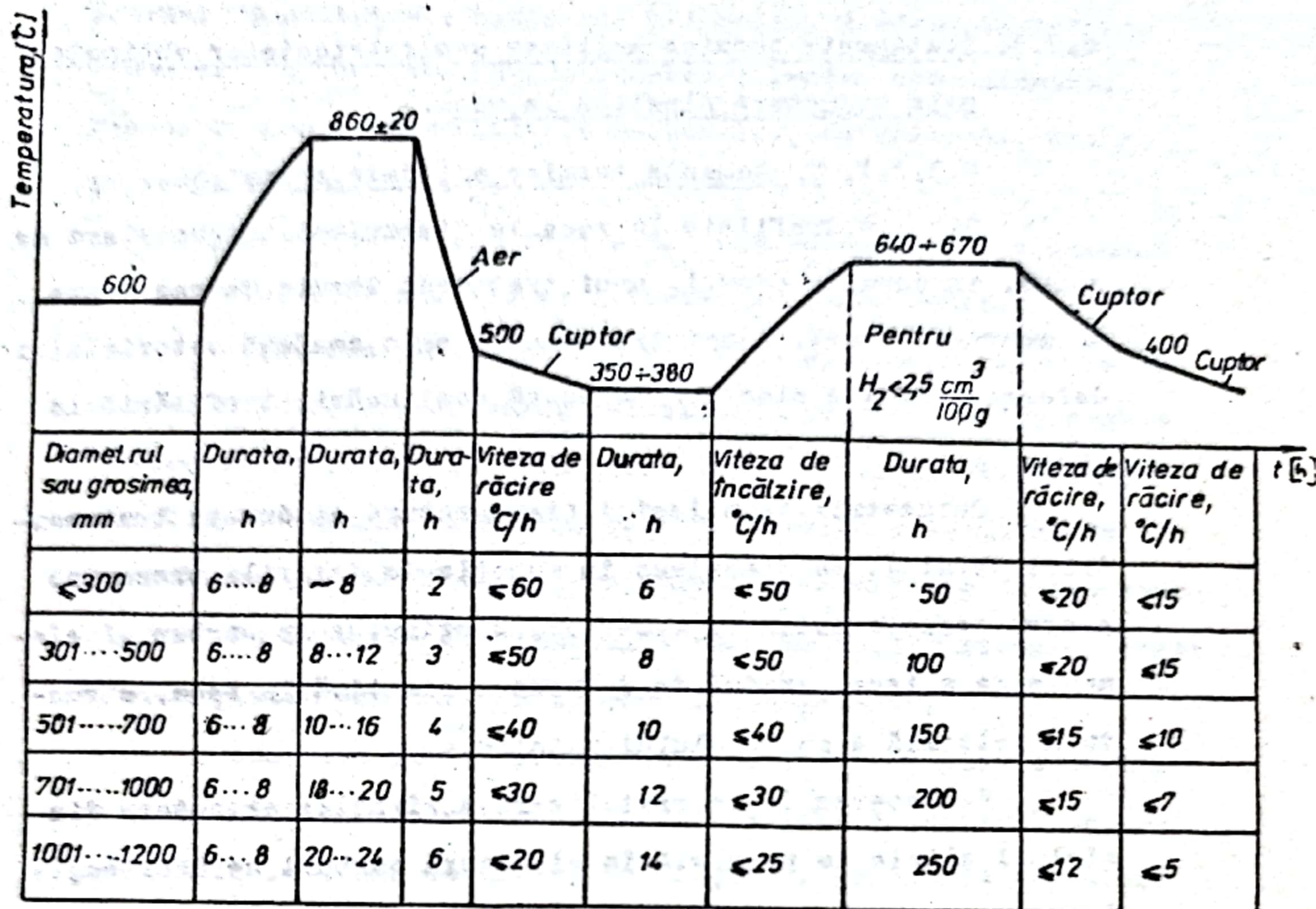
- oţelurile susceptibile la fisurare,(aliate cu Mn, Mn-Si, Cr-Mo) se răcesc după forjare la min. 550...650°C. Concomitent se măreşte durata de menţinere pentru a se realiza transformarea cît mai completă a austenitei;

- oţelurile Cr-Ni-Mo-V la care conţinutul de vanadiu depăşeşte 0,1% sînt greu de controlat cu ultrasunete deoarece carburile de vanadiu înrăutăţesc transparenţa ultrasonoră. Se recomandă ca încălzirea pentru normalizare să se execute la 1000°...1050°C.

8.3.2.4. Tratamente termice finale aplicate pieselor semifabricate prin forjare.

Tratamentele termice finale se adoptă în funcţie de condiţiile tehnice impuse luîndu-se în consideraţie tipul solicitărilor mecanice la care este supus organul de maşină semifabricat prin forjare, natura materialului, forma şi dimensiunile piesei etc.

In general, se recomandă ca tratament termic final



Diametrul sau grosimea, mm	Durata, h	Durata, h	Durata, h	Viteza de răcire °C/h	Durata, h	Viteza de încălzire, °C/h	Durata, h	Viteza de răcire, °C/h	Viteza de răcire, °C/h
≤300	6....8	~8	2	≤60	6	≤50	50	≤20	≤15
301....500	6....8	8...12	3	≤50	8	≤50	100	≤20	≤15
501.....700	6...8	10...16	4	≤40	10	≤40	150	≤15	≤10
701.....1000	6...8	18...20	5	≤30	12	≤30	200	≤15	≤7
1001....1200	6...8	20...24	6	≤20	14	≤25	250	≤12	≤5

Fig.289. Ciclul de tratament şi parametrii tehnologici orientativi pentru recoacerea de dehidrogenare a pieselor mari forjate de importanţă deosebită.

Îmbunătăţirea. Piesele lungi: axe turbină, cilindri de laminor etc., se răcesc la călire în medii pulverizate,(răcire în ceaţă) pentru a se evita deformaţiile. Dacă se constată deformaţii după operaţia de călire, semifabricatele se supun unei duble reveniri cu operaţie de redresare intermediară. Revenirea a II-a are rol de detensionare şi se execută la o temperatură inferioară temperaturii la care s-a executat prima revenire.

Pentru îmbunătăţirea comportării la uzare şi oboseală, se poate aplica un tratament termochimic final de nitrurare, (nitrurare ionică).

8.3.3. Tratamente termice aplicate semifabricatelor obţinute prin deformare plastică la rece.

8.3.3.1. Tratamente termice aplicate sîrmelor.

Sîrmele trefilate la rece la dimensiuni intermediare se supun, în anumite cazuri, unui tratament termic de recoacere de recristalizare. Acest tratament termic conferă materialului deformabilitatea plastică necesară continuării trefilării la rece.

Parametrii tehnologici,(temperatura şi durata tratamentului termic), se stabilesc în funcţie de valorile prescrise pentru caracteristicile mecanice, conţinutul în carbon şi elemente de aliere, gradul de deformare plastică la rece, structura iniţială a materialului metalic.

Recoacerea de recristalizare a sîrmelor executate din oţeluri aliate ce prezintă în structură carburi se deosebeşte de recoacerea de recristalizare aplicată sîrmelor executate din oţeluri carbon. Tratamentul presupune în acest caz recristalizarea feritei, globulizarea completă şi coalescenţa carburilor. Se conferă oţelurilor plasticitate şi prelucrabilitate prin aşchiere.

In casurile în care se urmăreşte să se asigure o deformabilitate la rece superioară, iar semifabricatelor valori ridicate ale caracteristicilor mecanice, se aplică tratamentul termic de patentare.

Tratamentul termic de patentare presupune austenitizarea completă a oţelului,(830...1000°C), încălzirea fiind urmată de o răcire izotermă la 450...550°C cu o menţinere de durată, (cca.1...3 ore). Structura formată prin patentare este uniformă fiind constituită din bainită şi perlită lamelară foarte fină, (ferita fiind absentă sau prezentă în proporţii mici).

Sîrmele trase la rece la dimensiuni finale se supun, potrivit destinației, unuia sau mai multor tratamente termice: recoaceri de recristalizare, recoaceri pentru detensionare, recoaceri pentru globulizarea carburilor, normalizare, călire și revenire etc.

Recoacerea pentru recristalizare se aplică ca tratament termic final cînd sîrmele se livrează în stare moale.

Recoacerea pentru detensionare se aplică în cazurile în care se urmărește realizarea valorilor prescrise pentru stabilitatea dimensională și caracteristicile mecanice. Tratamentul constă în încălzire la o temperatură inferioară pragului de recristalizare,(cca.370-410°C) cu durate de menținere foarte scurte: 20...25 secunde. Tratamentul termic se aplică sîrmelor trase la rece pentru armături în betoane precomprimate.

Recoacerea pentru globulizare este o recoacere subcritică și se aplică cu precădere sîrmelor supuse patentării și apoi trefilării la rece. Ca urmare, se obține o structură globulară fină și uniformă într-un timp de încălzire relativ scurt.

Călirea martensitică urmată de revenire înaltă,(îmbătrînirea), se aplică ca tratament termic final sîrmelor cărora li se prescriu valori ridicate pentru rezistența la rupere și pentru caracteristicile de plasticitate-tenacitate,(caracteristici mecanice care nu pot fi asigurate prin trefilare). Tehnologic,tratamentul se execută în baza prescripțiilor specifice materialului și semifabricatului.

Călirea de punere în soluție se aplică sîrmelor executate din oțeluri aliate cu mangan care se ecruisează în procesul de trefilare. Tratamentul termic constă dintr-o încălzire la cca. 1100...1150°C cu o durată de menținere de 3...4 min/mm grosime semifabricat și răcire în aer sau în apă. Prin tratament se conferă materialului caracteristicile de plasticitate necesare

continuării trefilării.

Defecte specifice tratamentelor termice aplicate sîrmelor trefilate-trase la rece:

- porţiuni fragile pe lungimea sîrmei trefilate după patentare. Cauza defectului o constituie întreruperea accidentală a procesului de patentare şi în consecinţă răcirea în aer a unor porţiuni de semifabricat;

- depăşirea temperaturii admise la recoacerea pentru globulizare. Se produce austenitizarea parţială a structurii şi la răcire se generează perlită lamelară. Scade deformabilitatea la rece. Remedierea defectului constă în patentarea corectă a sîrmei urmată de recoacerea de globulizare;

- separări de grafit. Defectul apare în sîrme din oţeluri cu conţinut ridicat de carbon supuse unui număr mare de treceri la trefilare cu recoaceri repetate pentru recristalizare. Defectul se consideră iremediabil.

8.3.3.2. Tratamente termice aplicate tablelor şi benzilor laminate la rece.

Tratamentele termice aplicate tablelor şi benzilor au următoarele obiective:

- asigurarea caracteristicilor tehnologice impuse prin condiţii tehnice în cazurile în care se continuă deformarea plastică la rece,(laminare la rece, îndoire-profilare, ambutisare, ştanţare etc.);

- asigurarea caracteristicilor fizico-mecanice şi chimice cerute în exploatare.

Parametrii tehnologici tipici ai acestor tratamente termice se stabilesc în funcţie de obiectivele impuse, diferenţiat pe grupe de oţeluri: oţeluri carbon şi slab aliate pentru construcţii metalice şi pentru construcţia de maşini, oţeluri aliate pentru construcţia de maşini, oţeluri carbon şi aliate

pentru scule, oţeluri anticorozive şi refractare, oţeluri electrotehnice etc.

Tablele şi benzile laminate la rece executate din oţeluri carbon şi aliate pentru construcţii metalice şi pentru construcţia de maşini sînt supuse unui tratament termic de recoacere subcritică în scopul obţinerii unor proprietăţi de plasticitate corespunzătoare. In cazul în care se fac mai multe reduceri de secţiune prin laminare la rece, se aplică ca operaţii intermediare un număr corespunzător de astfel de tratamente termice. Se recomandă următoarele regimuri de tratament termic:

- table laminate la rece din oţeluri pentru cazane,(K41...K52): încălzire la 590...610°C cu o menţinere de 6...8 ore şi răcire lentă pînă la cca.180...200°C;
- table din oţeluri carbon de calitate,(OLC25...OLC50): încălzire la 620...640°C cu o menţinere de 3...6 ore şi răcire lentă pînă la cca.180...200°C;
- table din oţeluri pentru arcuri,(OLC55A...OLC85A, etc.): încălzire la 640...660°C cu o menţinere de 1...2 ore şi răcire în aer;
- benzi în rulouri executate din oţel OLC35; OLC45; OLC50; încălzire la 620...640°C cu o menţinere de 5 ore şi răcire lentă;
- table laminate la rece din oţeluri aliate cu crom, mangan şi siliciu: încălzire la 700...730°C cu o menţinere de 6-8 ore şi răcire dirijată pînă la temoeratura de 200°C.

Observaţie: durata de încălzire pînă la temperatura de tratament termic se calculează luîndu-se în consideraţie un timp unitar de 15-16 min/mm, ptr.table şi 3-4 min/mm, ptr.rulouri.

In anumite situaţii se recomandă ca tratament termic normalizare urmată de revenire înaltă. Normalizarea se efectuează în cuptoare continue, iar revenirea în cuptoare clopot.

Tratamentul termic aplicat trebuie să asigure o structură uniformă. Pentru ferită se prescrie punctajul 6-8 care corespunde unor valori optime ale deformabilităţii la rece. Carburile trebuie să fie fine şi uniform distribuite. Prezenţa aglomerărilor de carburi sau a carburilor cu distribuţie în reţea contribuie la amorsarea fisurilor în timpul deformării plastice la rece.

Oţelurile de scule se laminează la rece sub formă de table sau benzi de grosime mică. Tratamentul termic primar aplicat acestor tipuri de semifabricate este recoacerea de globulizare.

Pentru table se recomandă următoarele regimuri de tratament termic:

- table din oţelurile OSC7, OSC8 şi OSC8M: încălzire la 760°C cu o viteză de încălzire de 80...100°C/h, menţinere la temperatură 4...5 ore şi răcire lentă,(cca.5 ore sub clopot şi 6 ore sub muflă;
- table din oţelurile OSC10, OSC11 şi OSC13: încălzire la 780°C cu o viteză de încălzire de 80...100°C/h, menţinere la temperatură 4...5 ore şi răcire lentă;
- table din oţeluri rapide: încălzire lentă la 860...880°C, menţinere la temperatura de regim 5-6 ore şi răcire sub clopot pînă la 500°C, apoi în aer.

In ceea ce priveşte tratamentul termic aplicat benzilor în rulouri destinate a fi laminate la rece se recomandă următorii parametri tehnologici: încălzire la 670...690°C cu o durată de menţinere de 4-5 min/mm grosime rulou şi răcire dirijată, (sub clopot, cca.5 ore).

Tablele executate din oţeluri înalt aliate cu crom şi nichel se supun unui tratament termic de călire pentru punere în soluţie: încălzire la 1000...1150°C,(în funcţie de calitatea oţelului) şi răcire rapidă,(apă etc.). La determinarea duratei de încălzire a tablelor şi benzilor în domeniul de temperaturi

indicat, se ia în calcul timpul unitar de 0,8...1,0 min/mm grosime.

Tablele de transformator laminate la rece se supun următoarelor tipuri de tratamente termice: recoaceri intermediare pentru îmbunătăţirea deformabilităţii plastice şi recoacere la temperatură înaltă cu încălzire în vid sau în atmosferă de hidrogen pentru obţinerea proprietăţilor magnetice prescrise.

Recoacerile intermediare se execută cu încălzire la 840 -860°C. Durata de menţinere depinde de mărimea încărcăturii şi distribuţia rulourilor în şarjă, fiind cuprinsă între 15 şi 18 ore. Răcirea rulourilor sub muflă se consideră de 1,5 ore pentru o tonă încărcătură.

Recoacerea pentru obţinerea proprietăţilor magnetice necesare tablelor din oţel de transformator se realizează cu încălzire la o temperatură de 1100-1200°C, în vid, în atmosferă de hidrogen sau în atmosferă de hidrogen şi azot. Incălzirea la temperatura de regim se realizează în cca.22...24 ore. Durata de menţinere la temperatura de regim este de cca.2 ore, după care temperatura scade la 1080...1100° şi încărcătura se menţine 22 ore. Răcirea finală se execută dirijat pînă la temperatura de 600°C în timp de 70...80 ore şi de la 600°C la 200°C în timp de 20...24 ore .

8.3.3.3. Tratamente termice aplicate ţevilor laminate la rece.

Ţevilor laminate la rece li se aplică o recoacere de recristalizare cu încălzire la 600°C. Incălzirea se realizează în cuptoare continuie cu role, sau prin inducţie în curenţi de înaltă frecvenţă.

Ţevilor sudate li se aplică un tratament termic de recoacere care are drept scop detensionarea materialului.

8.3.4. Tehnologii de tratament termic aplicate pieselor executate din oţeluri inoxidabile.

8.3.4.1. Familii de oţeluri inoxidabile.

In funcţie de matricea structurală, oţelurile inoxidabile se împart în trei mari familii:

- oţeluri martensitice;
- oţeluri feritice;
- oţeluri austenitice.

Oţelurile martensitice se catacterizează printr-un conţinut ridicat în crom, (cca.12-18%) şi printr-un conţinut în carbon peste 0,1%, (0,4...0,5%C). Pentru îmbunătăţirea rezistenţei la oxidare la cald se aliază cu siliciu, iar pentru a menţine tenacitatea atunci cînd conţinutul în crom este prea ridicat, (17...18% Cr), sînt aliate cu nichel, (1,2...4% Ni).

Oţelurile martensitice se împart în patru grupe, după conţinutul de carbon şi de crom:

Grupa	Compoziţia chimică						Oţeluri inoxidabile indigene
	C	Cr	Ni	Mo	Si	alte el.	
M1	0,15	11,5 14,0	-	-	-	-	10Cr130 20Cr130
M2	0,30 0,45	13,0 15,0	-	-	0,40	Mn; Cu; Al; Mo.	30Cr130 40Cr130
M3	0,60 1,20	16,o 18,0	-	0,75	-	-	90Cr130
M4	0,10 0,20	15,0 18,o	1,2 4,9	-	-	-	

Oţelurile feritice sînt oţeluri monofazice care conţin 0,10...0,35% C şi 15...30% Cr. Prezintă o rezistenţă la coroziune superioară celor martensitice şi sînt relativ ieftine.

In funcţie de conţinutul în carbon şi crom, oţelurile inoxidabile feritice se împart în două grupe: F_1 şi F_2.

grupa oţelului feritic	C	Cr	Al	Si	Ni	Cu	Ti	Mo	N
	Compoziţia chimică a oţelului								
F_1	0,08 0,12	15 18	4,0 max	0,5 1,0	1,0 max	2,0 max	0,5 max	2,0 max	-
F_2	0,10 0,35	25 30	-	-	1,0 4,0	2,0 max	-	2,0 max	0,12 0,25

Oţeluri inoxidabile feritice, STAS 3583-80: 8TiCr170; 8Cr170; 12TiCr250 etc.

Oţelurile feritice prezintă fragilitate după sudare. Microalierea cu Ni, Cu, Al, Mo, Ti, Nb şi reducerea conţinutului în carbon îmbunătăţeşte prelucrarea prin sudare şi permite prelucrarea oţelurilor feritice prin presare la rece.

Oţelurile inoxidabile austenitice conţin carbon sub 0,1%, 12...25% Cr şi 8...30% Ni, existînd o anumită proporţie de echivalent între elementele alfagene şi gamagene. Se împart în mai multe grupe, în funcţie de elementele principale de aliere.

Grupa oţelului austenitic	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	N	Mo	Cu	W	Ti	Nb
	Compoziţia chimică a oţelului												
oţeluri Cr-Ni A 18-8	0,03 0,05	0,6 1,0	0,3 1,0	0,03	0,04	12 25	7 21	0,12 0,22	-	1,8 2,2	-	7% C	12% C
oţeluri Cr-Ni-Mo A 18-8-Mo	0,03 0,07	5,0 2,0	0,2 1,0	0,03	0,04	16 28	5 17	0,12 0,22	1,3 5,0	1,8 2,2	2 4	7% C	12% C
oţeluri Cr-Mn A 12-14	0,10 0,20	13 15	0,8 max	0,03	0,04	16 18	0,8 max	0,25 0,37	0,3	0,3	0,2	0,2	-
oţeluri Cr-Ni-Mn A 20-6-10	0,10 max	5 16	0,8	0,03	0,04	13 17	3 5	-	0,3	0,3	0,2	5% C	0,05 0,14
oţeluri Cr-Ni-Mn-N A 20-6-9-07	0,10 max	5 15	0,8	-	-	12 28	2,5 20,0	0,25 0,37	2 3	-	-	0,2	--

Oţelurile inoxidabile austenitice sînt materiale care prezintă caracteristici mecanice deosebite, rezistenţă la coroziune, deformabilitate plastică uşoară, sudabilitate bună; (STAS 3583-80: 12TiNiCr180; 12NiCr250; 10TiMoNiCr175 etc.).

Oţelurile inoxidabile austenito-feritice sînt oţeluri similare cu cele analizate mai sus, la care s-a reglat conţinutul de elemente alfagene şi gamagene: max.0,05% C; max.8% Ni; 20...22% Cr; 2...2,5% Mo; 1,5% Cu; 3,0% Mn.

Oţelurile austenito-feritice se comportă bine la turnare şi sudare dar prezintă dificultăţi de forjare, laminare, trefilare, ambutisare.

8.3.4.2. Tratamente termice aplicate semifabricatelor executate din oţeluri inoxidabile martensitice.

Oţelurile inoxidabile martensitice suferă tratamente termice primare,(recoaceri complete) şi tratamente termice secundare,(căliri şi reveniri), specifice fiecărei grupe,($M_1...M_4$).

Tratamentele termice primare au drept scop micşorarea durităţii oţelurilor şi îmbunătăţirea prelucrabilităţii prin aşchiere. Se recomandă viteze mici de încălzire,(30-40°C/h), pentru a nu se creia tensiuni termice de valori mari care ar putea produce deformarea sau fisurarea semifabricatelor. Temperaturile de tratament termic sînt cuprinse între 840°C şi 900°C,(în funcţie de compoziţia chimică a oţelului). Durata de menţinere la temperatura de regim se calculează pentru 5 min/mm grosime semifabricat. Răcirea se face controlat pînă la 500°C cu o viteză de cca.20°C/h,(v.fig.290)

Se pot aplica şi recoaceri subcritice,(v.fig.291), cînd se urmăreşte cu precădere îmbunătăţirea prelucrabilităţii prin aşchiere. Temperaturile de încălzire sînt situate sub valoarea lui A_{c1}, iar durata de menţinere este de 3...8 min/mm grosime semifabricat.

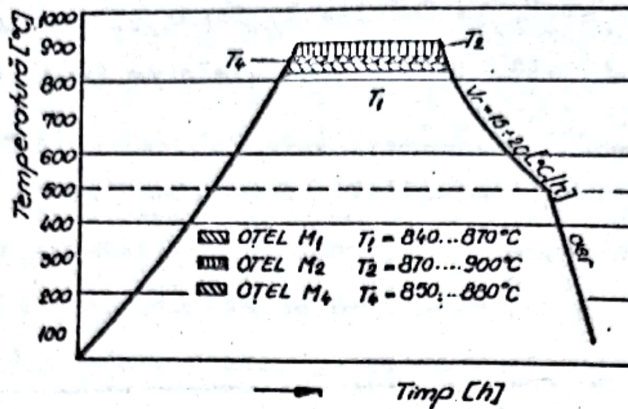


Fig.290. Ciclul de tratament termic specific recoacerii complete a oţelurilor inoxidabile martensitice.

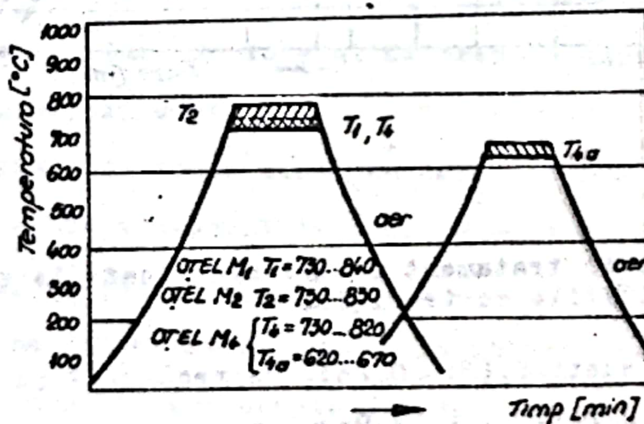


Fig.291. Ciclul de tratament termic specific recoacerii subcritice a oţelurilor inoxidabile martensitice.

Tratamentul termic de călire aplicat oţelurilor inoxidabile martensitice presupune austenitizarea completă a structurii,

(A_{c3} cca.920°C). In consecinţă, încălzirea pentru călire se face la 1000-1100°C, în funcţie de compoziţia chimică a oţelului. La aceeaşi marcă de oţel, în funcţie de forma şi dimensiunile pieselor se poate adopta una din variantele de încălzire prezentate în fig.292.

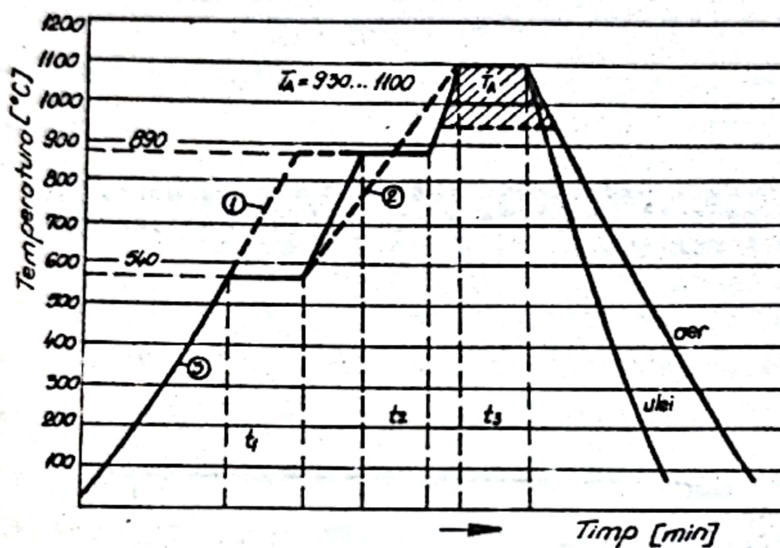


Fig.292. Cicluri de tratament termic practicate la călirea oţelurilor inoxidabile martensitice.

Pentru piese subţiri,(Bi< 0,25), se recomandă ca încălzirea să se facă cu o viteză de 30-40°C/h pînă la temperatura de 880...890°C, cu menţinere pentru uniformizarea temperaturii. Incălzirea finală la temperatura de austenitizare se face cu viteză mare,(în băi de săruri) şi este urmată de menţinere pentru uniformizarea temperaturii şi desăvîrşirea transformării de fază. Răcirea se execută în apă sau ulei, în funcţie de natura oţelului.

Piesele de dimensiuni mijlocii,(Bi ≅ 0,25), se încălzesc

în trepte, cu menţinere la 540...550°C şi încălzire finală, (viteze de încălzire: 30-40°C/h la preîncălzire şi cca.100°C/h la încălzire finală). Răcirea se execută în ulei sau aer.

Piesele de dimensiuni mari,(Bi > 0,25), se încălzesc în trepte cu menţinere la 540...550°C, 890...900°C şi la temperatura de austenitizare. Răcirea se execută în ulei sau aer.

Orientativ, se recomandă la temperatura de austenitizare următoarele durate de menţinere:

- 2...3 min/mm, pentru piese ce nu depăşesc grosimea de 5 mm;
- 4...5 min/mm, pentru piese ce nu depăşesc grosimea de 12mm;
- 5..10 min/mm, pentru piese cu grosimi mai mari de 25 mm.

Observaţii cu caracter tehnologic:

- temperatura de austenitizare se alege în funcţie de compoziţia chimică a oţelului şi are o deosebită influenţă asupra rezultatelor tratamentului;

- răcirea semifabricatelor se face pînă la o temperatură sub 100°C, dat fiind faptul că oţelurile inoxidabile martensitice au temperatura de început de transformare martensitică situată la valori scăzute;

- se recomandă ca în cazul în care răcirea la călire se execută în ulei de tratament termic, temperatura mediului de răcire să fie de 40...60°C;

- răcirea în aer se recomandă la călirea pieselor de formă complexă, cu schimbări bruşte de secţiuni.

Tratamentul termic de revenire aplicat oţelurilor inoxidabile martensitice prezintă un interes deosebit, prin revenire asigurîndu-se tenacitatea şi rezistenţa la coroziune cerute prin condiţiile tehnice. In cazul în care se urmăreşte obţinerea unei rezistenţe mecanice mari se recomandă revenirea joasă: 150-250°C cu o durată de menţinere de max.2 ore. Revenirea de detensionare cu încălzire la max.420...430°C, cu o durată de menţinere de

cca.4 ore şi răcire în aer liniştit asigură obţinerea unei rezistenţe ridicate la coroziune.

Revenirea la temperaturi ridicate: 600...700°C cu durate de menţinere de 1...4 ore şi răcire în aer, ulei sau apă, asigură o bună comportare a semifabricatelor la solicitări prin şoc.

Se impun următoarele observaţii cu caracter tehnologic:

- se vor evita pe cît posibil domeniile de temperaturi specifice revenirilor medii: 450...470°C, cînd apare fragilitatea de revenire. Revenirea în acest interval de temperaturi favorizează separarea carburilor de crom, fapt ce explică scăderea rezistenţei la coroziune;

- la oţelurile cu un conţinut mai mare de carbon revenirea se aplică imediat după călire deoarece în caz contrar apar fisuri;

- revenirea la temperaturi ridicate este specifică oţelurilor inoxidabile martensitice cu conţinut mic de carbon.

8.3.4.3. Tratamente termice aplicate semifabricatelor executate din oţeluri inoxidabile feritice.

Oţelurile inoxidabile feritice prezintă, de regulă, o structură ce nu suportă transformări de fază la încălzire-răcire. In consecinţă, încălzirile şi răcirile dirijate pot provoca doar modificări dimensionale şi de formă ale grăunţilor de ferită,(se modifică gradul de dispersie).

Durificarea structurală a oţelurilor inoxidabile feritice se poate realiza în anumite cazuri speciale. Dacă oţelurile din grupa F_1 sînt încălzite la o temperatură de peste 1000°C şi sînt supuse ulterior unei răciri în apă sau aer, tratamentul termic astfel condus provoacă apariţia unor insule de martensită. Aplicarea unui tratament termic de revenire cu încălzire la 480...500°C determină o durificare structurală rezultat al separării

de carburi fine de crom.

Durificarea structurală a oţelurilor inoxidabile feritice determină creşterea rezistenţei mecanice, scăderea rezilienţei şi înrăutăţirea rezistenţei la coroziune intercristalină. Efectele durificării structurale se pot anula prin aplicarea unui tratament termic de recoacere cu încălzire la cca. 900°C.

In scopul îmbunătăţirii proprietăţilor tehnologice ale oţelurilor inoxidabile feritice şi cu precădere deformabilitatea plastică, se aplică tratamente termice de recoacere. Pentru grade mici de deformare plastică se recomandă încălzirea la 650...830°C, cu menţinere de 1...2 min/mm grosime semifabricat şi răcire în aer,(v.fig.293).

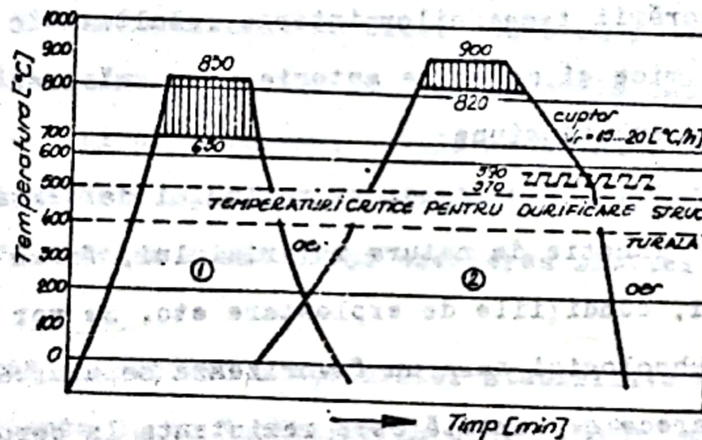


Fig.293. Tipuri de recoaceri aplicate oţelurilor inoxidabile feritice.

In cazul deformaţiilor plastice intense se recomandă încălzirea la 820...900°C, cu menţinere de 1...2 min/mm şi cu răcire dirijată, respectiv 15...30°C/h pînă la 590...570°C şi apoi răcire în aer.

Prescripţii tehnologice:

- pentru evitarea efectelor durificării structurale, încăl-

zirea-răcirea în zona temperaturilor 400-500°C se va executa cît mai rapid posibil;

- în cazul în care gradul de deformare plastică nu depăşeşte 8...10% nu se vor aplica recoaceri cu încălzire la temperaturi de 950...1000°C, supraîncălzirile favorizînd apariţia unei granulaţii grosolane.

8.3.4.4. Tratamente termice aplicate semifabricatelor executate din oţeluri inoxidabile austenitice.

Tratamentele termice specifice semifabricatelor executate din oţeluri inoxidabile austenitice sînt: recoacerea de detensionare, călirea de punere în soluţie, recoacerea de sensibilizare la coroziune.

Recoacerea de detensionare-recristalizare se aplică cu scopul micşorării tensiunilor interne rezultate în urma prelucrărilor termice şi mecanice anterioare şi mărirea rezistenţei la coroziune sub tensiune.

Parametrii tehnologici ai regimului de tratament termic se adoptă în funcţie de natura materialului, forma şi dimensiunile piesei, condiţiile de exploatare etc. Se vor adopta acei parametri tehnologici care nu favorizează separarea carburilor de crom deoarece se înrăutăţeşte rezistenţa la coroziune. Se recomandă următoarele regimuri de tratament termic:

- reperele ce lucrează în condiţii severe-solicitări mecanice mari în medii puternic corozive-se supun unor încălziri la 900±20°C cu o durată de menţinere de 10 min/mm urmate de răciri lente. Oţelurile stabilizate,(cu adaos de titan), se încălzesc la 1000...1120°C cu o durată de menţinere de 10 min/mm şi răcire în aer. Tratamentul poate fi urmat şi de o călire de punere în soluţie cînd se urmăreşte refacerea capacităţii de deformare plastică.

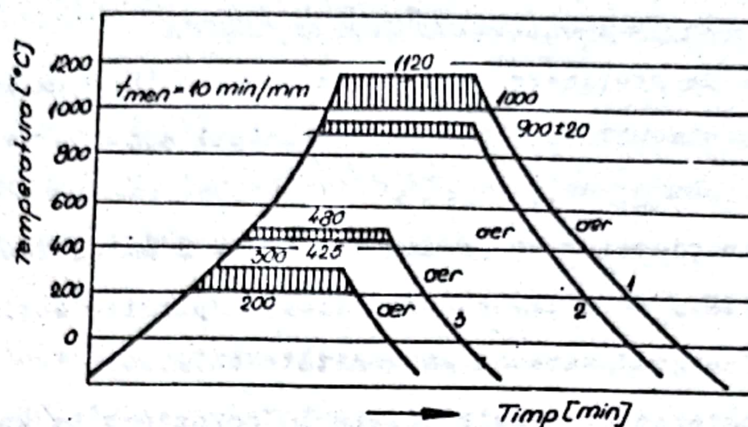


Fig.294. Regimuri de tratamente termice specifice recoacerii de detensionare - recristalizare a oţelurilor inoxidabile austenitice.

- reperele pentru care se impun condiţii de stabilitate dimensională se supun încălzirii la 200...300°C cu o durată de menţinere de 10 min/mm şi răcire în aer. Efectele detensionării fiind reduse, ciclul de tratament termic recomandat,(varianta 4) se aplică cu precădere oţelurilor inoxidabile austenitice stabilizate pentru care se constată şi creşterea limitei de elasticitate;

- detensionarea parţială a oţelurilor stabilizate se realizează după varianta 3, cu încălzire la 450...480°C, menţinere 10 min/mm şi răcire în aer;

- încălzirea la temperaturi ridicate: 1000...1120°C, asigură recristalizarea, detensionarea şi dizolvarea carburilor de crom. Gradul de deformare aplicat şi temperatura de încălzire influenţează mărimea grăuntelui de austenită. Nu se recomandă încălzire la 1200°C în cazul în care gradul de deformare este de 5%...10%.

<u>Călirea de punere în soluţie</u> are aplicabilitate extinsă şi are ca scop mărirea rezistenţei la coroziune.

Se recomandă următorul regim de tratament termic:

- încălzire la 1000...1100°C;
- durata de menținere depinde de compoziția chimică a oțelului și de dimensiunile piesei. Se adoptă orientativ 3...5 min/mm din grosimea piesei;
- răcirea pieselor cu grosimi de peste 2 mm se face în apă, fapt ce evită precipitarea carburilor și permite obținerea austenitei cu grad mare de omogenitate chimică.

Recoacerea de sensibilizare la coroziune se aplică cu scopul de a determina intervalul critic de temperaturi în care un oțel inoxidabil austenitic prezintă sensibilitate la coroziune.

In general, recoacerea de lungă durată,(cca.2 ore), cu încălzire în intervalul de temperaturi 450...480°C cu răcirea în apă sau aer provoacă separări ale carburilor de crom la limita grăunților de austenită, ceea ce amplifică procesele de coroziune intercristalină. Totodată se constată o creștere a durității și o scădere a rezilienței oțelului sensibilizat prin tratament termic,(v.fig.295).

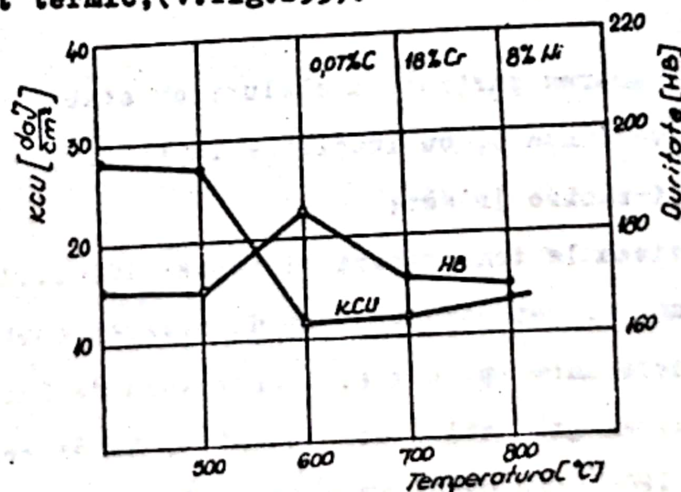


Fig.295. Influența temperaturii la recoacerea de sensibilizare asupra durității și rezilienței oțelurilor inoxidabile austenitice.

8.3.4.5. Tratamente termice aplicate semifabricatelor executate din oţeluri inoxidabile austenito-feritice.

Oţelurile inoxidabile austenito-feritice se caracterizează prin conţinut în carbon sub 0,1%, crom 20...30%, nichel 4...8%, molibden max.2,5%, cupru max.1,5%, titan, niobiu etc.

Oţelurile inoxidabile austenito-feritice îşi modifică proprietăţile mecanice, fizice şi tehnologice după tratamentele termice aplicate: călire urmată de revenire joasă sau înaltă.

Călirea oţelurilor inoxidabile austenito-feritice se realizează prin încălziri la 1050...1150°C, cu durate de menţinere stabilite în funcţie de compoziţia chimică a oţelului, dimensiunile pieselor etc., urmate de răcire rapidă în apă, ulei sau aer. Călirea de la temperaturi de 1050...1150°C permite obţinerea unei cantităţi mici de ferită în structura de călire.

Revenirea cu încălzire la 450...600°C contribuie la durificarea structurală a oţelului fără a se constata micşorarea tenacităţii şi rezistenţei la coroziune,(precipitatele se separă în austenită şi nu formează o reţea continuă).

Revenirea înaltă cu încălzire peste 800°C determină o durificare importantă, ca urmare a formării fazei σ. Se înrăutăţesc proprietăţile mecanice de plasticitate şi rezilienţă. Deoarece călirea şi revenirea înaltă fragilizează oţelurile, tratamentul termic nu poate fi aplicat decît pentru piese solicitate intens la uzare.

Cap.IX CONTROLUL TEHNIC DE CALITATE AL PRODUSELOR TRATATE TERMIC SI TERMOCHIMIC

Activitatea de control are un rol deosebit în efectuarea tehnologiilor de tratament termic şi mai ales asupra rezultatelor obţinute după tratamentul termic.

Prin control tehnic de calitate se înţelege ansamblul de activităţi desfăşurate în scopul obţinerii unor produse corespunzătoare utilizării,deci prin care secţia,atelierul de tratament termic realizează produse de calitate.

Pentru aceasta controlul de calitate trebuie să cuprindă următoarele patru mari operaţii:

a) Stabilirea standardelor,normelor şi documentaţiei tehnice (desen tehnic,plan de operaţie,fişă tehnologică) folosite în secţia de tratamente termice.Această primă operaţie presupune:

- alegerea şi verificarea tehnologiei şi condiţiilor tehnologice de tratament termic ;
- alegerea şi verificarea calităţii materiilor prime şi a produselor înainte de tratamentul termic;
- alegerea utilajelor şi aparatelor de măsură folosite;
- stabilirea modului de efectuare a măsurătorilor şi a obiectului controlului.

b) Urmărirea desfăşurării procesului tehnologic de tratament termic în conformitate cu documentaţia tehnică în vigoare.Această a doua operaţie presupune:

- instruirea şi urmărirea personalului în ceea ce priveşte aplicarea normelor tehnologice ;
- urmărirea funcţionării utilajelor de tratament termic;
- executarea măsurătorilor şi verificărilor conform documen-

taţiei stabilite.

c) Analiza desfăşurării procesului tehnologic de tratament termic prin rezultatele obţinute.Această operaţie este legată de:

- stabilirea faptului dacă valorile obţinute prin măsurare se încadrează în cele impuse.

d) Luarea măsurilor necesare în funcţie de rezultatele obţinute din analiza desfăşurării procesului tehnologic.Această ultimă şi cea mai importantă operaţie cuprinde:

- adoptarea măsurilor de remediere pentru ca operaţiile tehnologice să se desfăşoare normal;

- adoptarea măsurilor de remediere a produselor cu defecte.

Toate aceste activităţi conduc la observaţia că obţinerea unui produs de calitate implică un complex de activităţi tehnico-organizatorice strîns legate între ele.

In funcţie de locul în fluxul tehnologic unde este plasat controlul,în secţiile de tratament termic se deosebesc următoarele tipuri de control tehnic:

a) Controlul materialelor şi produselor înainte de tratamentul termic ;

b) Controlul desfăşurării procesului tehnologic de tratament termic;

c) Controlul rezultatelor tratamentului termic (control final).

9.1. Controlul materialelor şi produselor înainte de tratamentul termic

Verificarea semifabricatelor înainte de tratamentul termic are în vedere stabilirea calităţii materialului,structurii şi aspectului dimensional.Condiţiile în ceea ce priveşte calitatea,volumul,caracterul recepţiei sînt cuprinse în documentaţia ce însoţeşte

produsul şi este stabilită în atelierele de proiectare tehnologică. Specialistul în tratamente termice trebuie să cunoască metodele şi aparatele pentru obţinerea datelor necesare controlului, să fie în măsură să interpreteze rezultatele obţinute în scopul stabilirii cauzelor care au condus la apariţia unui anumit defect şi să stabilească măsurile pentru remedierea lui (dacă aceasta mai este posibilă).

9.1.1. Controlul compoziţiei chimice

Compoziţia chimică se verifică fie prin analize consacrate, standartizate şi care se fac în laborator fie prin metode operative cum sînt: analiza spectrală, analiza magnetometrică, atacul cu sulfat de cupru şi proba de scîntei.

9.1.1.1. Analiza spectrală

Analiza spectrală spre deosebire de analiza chimică obişnuită, deseori complicată şi foarte îndelungată, permite să se identifice în cîteva minute toate elementele care intră în compoziţia probei studiate. Din punct de vedere al înregistrării, metodele de analiză spectrală se împart în: metode vizuale, fotografice şi fotoelectrice. Prelucrarea acestora se face manual, fie mai ales automat. Rezultate destul de precise se obţin prin folosirea analizei spectrale calitative sau semicantitative, cu ajutorul unui spectroscop numit stiloscop. Principiul analizei spectrale este prezentat schematic în fig. 296 Stiloscopul alimentat de un curent electric de la reţea (22o V), pune în contact cu piesa (locul respectiv fiind curăţat prin polizare) electrodul.

Intre electrod şi piesă se produce un arc electric, cu temperatura foarte înaltă, care vaporizează brusc o parte din oţel. Vaporii obţinuţi conţin atomi ai fierului şi elementelor de aliere, ca-

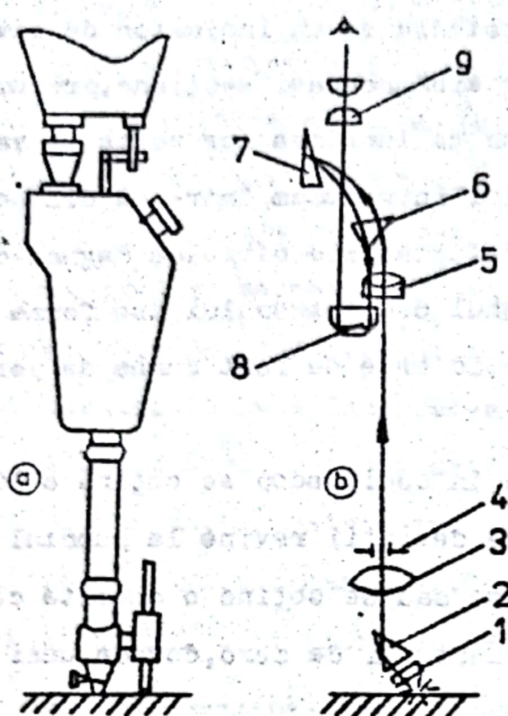


Fig.296 Stiloscop portabil (a) şi schema optică (b) 1-geam de protecţie; 2-prismă mobilă; 3-condensator 4-fantă; 5-obiectiv; 6,7-set de prisme de dispersie; 8-prismă dublă mobilă; 9-ocular.

re emit radiaţii luminoase de anumite lungimi de undă specifice fiecărui element,formînd un spectru de emisie caracteristic.Spectrul de emisie apare mărit în ocularul stiloscopului sub forma unor linii spectrale, mai subţiri sau mai groase,izolate sau grupate. Prin compararea acestor linii spectrale cu liniile etalon (din catalog) se poate determina calitativ ce elemente de aliere sînt prezente în oţelul respectiv,iar din intensitatea liniilor (grosime,luminozitate) se poate determina şi conţinutul aproximativ al fiecărui element.

9.1.1.2. Analiza magnetometrică

Analiza compoziţiei chimice prin metoda magnetometrică se bazează pe interdependenţa ce există între proprietăţile magnetice pe de o parte şi compoziţia chimică şi structura pe de altă parte. Prin această metodă se pot separa piese cu compoziţie chimică diferită,se pot depista defecte ascunse,se pot identifica piese cu structuri metalografice apropiate.Aparatul utilizat în cadrul acestei analize este alcătuit din două bobine inductoare,montate în opoziţie cu diametrul pînă la 300 mm şi poate lucra pe două trepte, cu zece grade de amplificare şi cinci grade de sensibilitate.De ase-

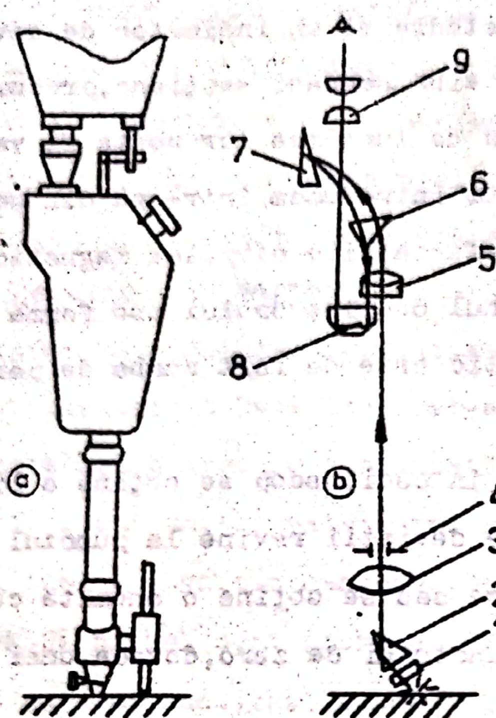


Fig.296 Stiloscop portabil (a) şi schema optică (b) 1-geam de protecţie; 2-prismă mobilă; 3-condensator; 4-fantă; 5-obiectiv; 6,7-set de prisme de dispersie; 8-prismă dublă mobilă; 9-ocular.

re emit radiaţii luminoase de anumite lungimi de undă specifice fiecărui element, formînd un spectru de emisie caracteristic. Spectrul de emisie apare mărit în ocularul stiloscopului sub forma unor linii spectrale mai subţiri sau mai groase, izolate sau grupate. Prin compararea acestor linii spectrale cu liniile etalon (din catalog) se poate determina calitativ ce elemente de aliere sînt prezente în oţelul respectiv, iar din intensitatea liniilor (grosime, luminozitate) se poate determina şi conţinutul aproximativ al fiecărui element.

9.1.1.2. Analiza magnetometrică

Analiza compoziţiei chimice prin metoda magnetometrică se bazează pe interdependenţa ce există între proprietăţile magnetice pe de o parte şi compoziţia chimică şi structura pe de altă parte. Prin această metodă se pot separa piese cu compoziţie chimică diferită, se pot depista defecte ascunse, se pot identifica piese cu structuri metalografice apropiate. Aparatul utilizat în cadrul acestei analize este alcătuit din două bobine inductoare, montate în opoziţie cu diametrul pînă la 300 mm şi poate lucra pe două trepte, cu zece grade de aplificare şi cinci grade de sensibilitate. De ase-

menea este dotat cu un osciloscop catodic şi un indicator de deviaţii.Piesele de controlat trebuie să aibă aceeaşi secţiune,precum şi aceeaşi poziţie în bobină,în timp ce lungimea lor poate fi variabilă.Dacă după reglarea aparatului introducem într-una din bobine o piesă (considerată etalon) deformaţiile cîmpului magnetic provocate,sînt înregistrate pe ecranul osciloscopului sub forma unei curbe.Deformaţia cîmpului magnetic este de fapt curba de permeabilitate diferenţială.

Introducînd şi cealaltă piesă în osciloscop se obţine o linie dreaptă orizontală şi indicatorul de deviaţii revine la punctul zero,dovada unei structuri asemănătoare sau se obţine o anumită curbă indicatorul deplasîndu-se înafara punctului de zero,dovada unei structuri diferite.

Intre diferite calităţi de oţeluri se obţin "figuri caracteristice" pe osciloscop ca în exemplele din fig 297 pentru oţeluri rapide,oţeluri inoxidabile şi oţeluri înalt aliate cu Cr.

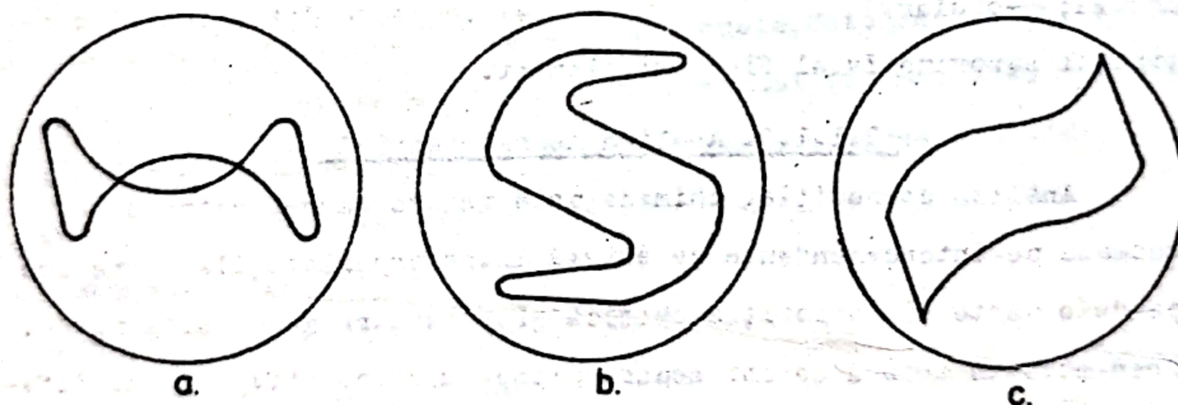


Fig. 297 Spoturi caracteristice pe osciloscop la controlul magnetometric
a-oţeluri rapide; b-oţeluri inoxidabile; c-oţeluri aliate cu Cr.

Pentru controlul metalelor şi aliajelor neferoase,deci fără proprietăţi magnetice,aparatul utilizează efectul curenţilor Foucault dezvoltaţi în metalul controlat prin cîmpul inductor în curent alternativ la 50 Hz.

menea este dotat cu un osciloscop catodic şi un indicator de deviaţii.Piesele de controlat trebuie să aibă aceeaşi secţiune,precum şi aceeaşi poziţie în bobină,în timp ce lungimea lor poate fi variabilă.Dacă după reglarea aparatului introducem într-una din bobine o piesă (considerată etalon) deformaţiile cîmpului magnetic provocate,sînt înregistrate pe ecranul osciloscopului sub forma unei curbe.Deformaţia cîmpului magnetic este de fapt curba de permeabilitate diferenţială.

Introducînd şi cealaltă piesă în osciloscop se obţine o linie dreaptă orizontală şi indicatorul de deviaţii revine la punctul zero,dovada unei structuri asemănătoare sau se obţine o anumită curbă indicatorul deplasîndu-se înafara punctului de zero,dovada unei structuri diferite.

Intre diferite calităţi de oţeluri se obţin "figuri caracteristice" pe osciloscop ca în exemplele din fig 297 pentru oţeluri rapide,oţeluri inoxidabile şi oţeluri înalt aliate cu Cr.

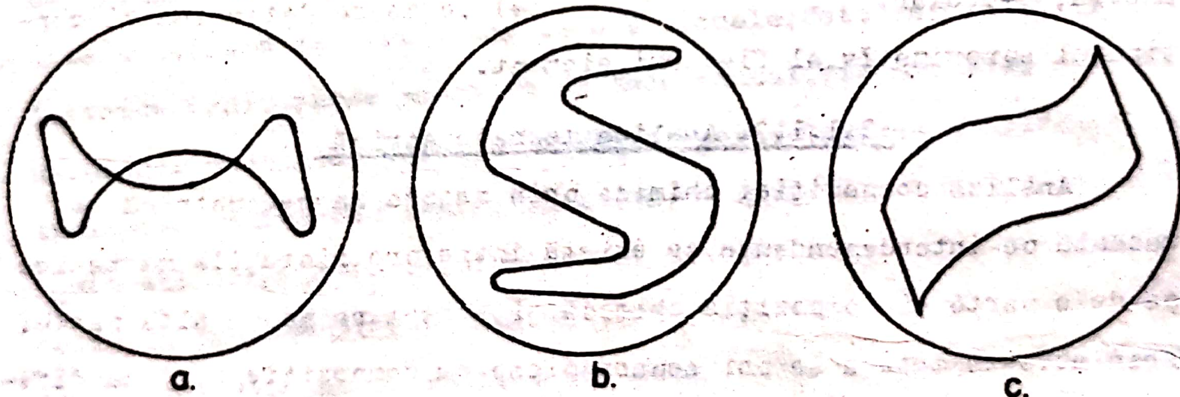


Fig. 297 Spoturi caracteristice pe osciloscop la controlul magnetometric
a-oţeluri rapide; b-oţeluri inoxidabile; c-oţeluri aliate cu Cr.

Pentru controlul metalelor şi aliajelor neferoase,deci fără proprietăţi magnetice,aparatul utilizează efectul curenţilor Foucault dezvoltaţi în metalul controlat prin cîmpul inductor în curent alternativ la 50 Hz.

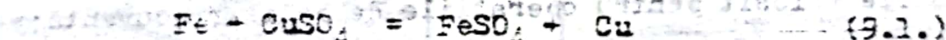


Pentru cazul identificării mărcii unui oțel ce intră în cadrul secției de tratament termic sînt utilizate o serie de metode practice operative și în același timp eficiente. Metoda magnetică permite să fie deosebite oțelurile nemagnetice de cele magnetice. Dintre oțeluri, cele din clasa austenitică nu sînt feromagnetice, nefiind atrase de magnet. Deci prin încercarea cu magnetul se poate exclude sau include posibilitatea ca materialul metalic să fie un oțel austenitic. Dacă încercarea conduce la concluzia că el nu este feromagnetic trebuie continuată verificarea pentru a stabili ce fel de oțel austenitic este; oțel austenitic aliat cu crom și nichel sau oțel austenitic manganos. Oțelurile austenitice înalt aliate cu crom și nichel sînt inoxidabile, pe cînd cele înalt aliate cu mangan nu sînt inoxidabile. Acest lucru se pune în evidență prin analiza cu sulfat de cupru.

9.1.1.3. Analiza cu $CuSO_4$

Analiza cu sulfat de cupru constă în depunerea pe o suprafață curățată prin polizare sau pilire a unei picături de soluție 10% de sulfat de cupru.

In cazul în care piesa este din oțel austenitic înalt aliat cu mangan, se va forma o pată de culoare arămie. Prin reacția:



$$Fe + CuSO_4 = FeSO_4 + Cu \qquad (9.1.)$$

este pus în libertate cuprul care formează pata respectivă.

Oțelul austenitic înalt aliat cu crom și nichel fiind inoxidabil, nu este atacat chimic de soluția de sulfat de cupru.

Prin încercarea cu magnetul urmată de încercarea cu picătura de sulfat de cupru, se identifică oțelurile din clasa austenitică înalt aliate cu crom și nichel sau mangan. Dacă încercarea conduce la concluzia că materialul metalic este feromagnetic (este atras

Pentru cazul identificării mărcii unui oțel ce intră în cadrul secției de tratament termic sînt utilizate o serie de metode practice operative și în același timp eficiente.Metoda magnetică permite să fie deosebite oțelurile nemagnetice de cele magnetice. Dintre oțeluri,cele din clasa austenitică nu sînt feromagnetice,nefiind atrase de **magnet**.Deci prin încercarea cu magnetul se poate exclude sau include posibilitatea ca materialul metalic să fie un oțel austenitic.Dacă încercarea conduce la concluzia că el nu este feromagnetic trebuie continuată verificarea pentru a stabili ce fel de oțel austenitic este; oțel austenitic aliat cu crom și nichel sau oțel austenitic manganos.Oțelurile austenitice înalt aliate cu crom și nichel sînt inoxidabile,pe cînd cele înalt aliate cu mangan nu sînt inoxidabile.Acest lucru se pune în evidență prin analiza cu sulfat de cupru.

9.1.1.3. Analiza cu $CuSO_4$

Analiza cu sulfat de cupru constă în depunerea pe o suprafață curățată prin polizare sau pilire a unei picături de soluție 10% de sulfat de cupru.

In cazul în care piesa este din oțel austenitic înalt aliat cu mangan,se va forma o pată de culoare arămie.Prin reacția:



$$Fe + CuSO_4 = FeSO_4 + Cu \qquad (9.1.)$$

este pus în libertate cuprul care formează pata respectivă.

Oțelul austenitic înalt aliat cu crom și nichel fiind inoxidabil,nu este atacat chimic de soluția de sulfat de cupru.

Prin încercarea cu magnetul urmată de încercarea cu picătura de sulfat de cupru,se identifică oțelurile din clasa austenitică înalt aliate cu crom și nichel sau **mangan**.Dacă încercarea conduce la concluzia că materialul metalic este feromagnetic (este atras



de magnet) trebuie continuate încercările prin metode diverse,fiind posibil ca el să facă parte din clasele perlitică (hipoeutectoid, eutectoid sau hipereutectoid),martensitică,feritică,feritică cu carburi,ledeburitică.Indicaţii privind conţinutul de carbon precum şi prezenţa unor elemente de aliere se obţin prin proba de polizor (aspectul scînteilor).

9.1.1.4. Proba de scîntei

Identificarea mărcii de oţel cu ajutorul scînteilor constă în compararea formei şi aspectului fasciculelor de scîntei (jerbei) desprinse la polizarea piesei sau semifabricatului din oţel necunoscut cu fasciculul de scîntei ce se desprind la polizarea unei bare etalon dintr-un oţel cu compoziţia cunoscută.Cînd scînteile desprinse de pe piesă sau semifabricat sînt identice cu scînteile ce se desprind din etalon înseamnă că marca celor două oţeluri este aceeaşi.In acest caz compoziţia chimică a oţelului căutat este aceiaşi cu compoziţia chimică a oţelului din care a fost confecţionat etalonul.

Pentru obţinerea unor rezultate cît mai exacte sînt necesare următoarele:

- polizorul să fie instalat într-o cameră cu luminozitate redusă şi să nu fie folosit pentru operaţiile de polizare curentă; granulaţia şi duritatea pietrei trebuie să fie medie iar viteza periferică de ordinul 2o ÷ 25 m/s;

- etalonul şi piesa se apasă pe piatra de polizor cu aceeaşi forţă şi dacă este posibil ambele deodată; în acest scop polizorul se prevede cu un suport mobil pe care să se poată aşeza atît piesa cît şi etalonul;

- stratul decarburat de pe suprafaţa piesei din zona de încercare se îndepărtează printr-o polizare prealabilă.

Elementele de comparaţie care trebuiesc urmărite în fasciculul de scîntei sînt: culoarea (roşie,roşie-deschisă sau alb-gălbui), forma (continuă sau întreruptă), exploziile şi bifurcările sau ramificaţiile.

Din punctul de vedere al formei razele scînteilor pot forma un fascicul de linii întrerupte (linia 1,fig.298) sau un fascicul de linii continue cu ramificare 2 sau cu bifurcare 3.Liniile continue pot fi însoţite de explozii într-o zonă intermediară 4 sau la capătul final 5 şi 6 cu prelungirea excesivă a unor raze 6 sau fără prelungirea acestora 5.In fig 299 se arată orientativ aspectul fasciculului de scîntei pentru cîteva mărci de oţeluri.

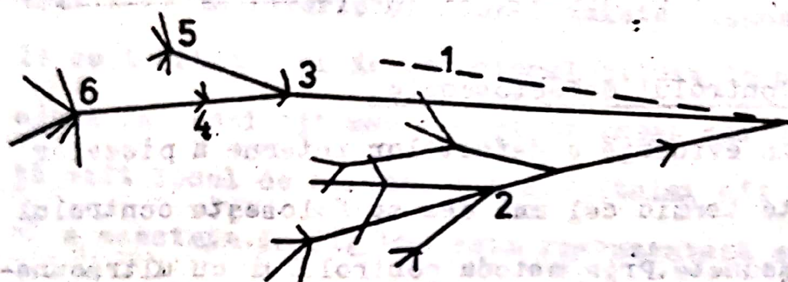
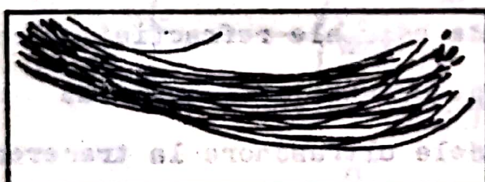
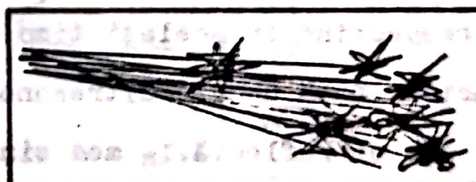


Fig 298.Aspectul traiectoriei scînteilor în timpul polizării.


a


b


c

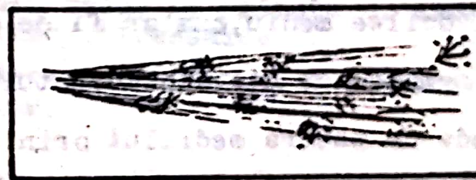

d

Fig 299 Aspectul fascicolului de scîntei pentru diferite mărci de oţeluri
a-oţel 13CrNi3o; b-oţel nealiat OLC-35; c-oţel nealiat OSC10; d- oţel aliat 13CN3o

In general se poate spune că oţelurile nealiate sau slab ali-

ate cu pînă la o,25%C,dau scîntei slabe,cu mănunchiul lung şi luminozitate clară.Exploziile sînt rare şi se formează mai mult în vîrf şi mai rar pe raze.

Pe măsura creşterii conţinutului de carbon mănunchiul de scîntei devine mai puternic şi mai luminos.Oţelurile rapide şi cele inoxidabile prezintă un aspect cu totul deosebit,formînd un fascicul de linii continue şi cu explozii compacte la capătul razelor roşietice.

9.1.2. Controlul defectoscopic

Pentru punerea în evidenţă a defectelor interne a pieselor ce urmează a fi tratate termic cel mai des se foloseşte controlul defectoscopic cu ultrasunete.Prin metoda controlului cu ultrasunete pot fi puse în evidenţă defecte interne ca: fisuri,porozităţi, fulgi,etc.,fără a distruge integritatea pieselor sau semifabricatelor controlate.In esenţă controlul cu ultrasunete se bazează pe capacitatea ultrasunetelor de a se propaga în gaze,lichide şi solide,respectînd în acelaşi timp legile de bază ale refracţiei şi difracţiei.Dacă undele ultrasonore cad pe suprafaţa dintre două medii ele se reflectă.In mod similar undele ultrasonore la trecerea printr-o masă metalică omogenă se reflectă cînd în calea lor apare un al doilea mediu,cum ar fi de exemplu: fisurile,fulgii,incluziunile nemetalice etc.Coeficientul de reflexie al energiei sonore depinde de natura mediului prin care este propagată această energie,de caracterul şi dimensiunile obstacolului din calea fasciculului şi de lungimea undelor ultrasonore.

Principalele metode de defectoscopie ultrasonică,folosite în cadrul secţiilor de tratament termic sînt: metoda propagării directe a vibraţiilor ultrasonore,numită şi metoda umbrei sau transparenţei,metoda prin rezonanţă şi metoda prin reflexie sau de impuls.

Metoda propagării directe constă în trimiterea printr-un emițător, în piesa ce se examinează, a unui fascicul ultrasonor. Pe fața opusă a piesei receptorul primește și transformă energia ultrasonică în energie electrică. Energia astfel transformată este amplificată și trimisă la indicatorul aparatului.

Cînd piesele sînt omogene ultrasunetele trec prin piesă și ies în partea opusă aproape în aceeași cantitate în care au intrat. Dacă în interiorul piesei există discontinuități, ultrasunetele se împrăștie și în receptorul situat în partea opusă a piesei ajung în cantități mai reduse. In acest caz se poate pune în evidență atît locul de amplasare a defectului cît și mărimea aproximativă a acestuia. In fig.300 este reprezentată schema propagării directe a vibrațiilor ultrasonore printr-un semifabricat.

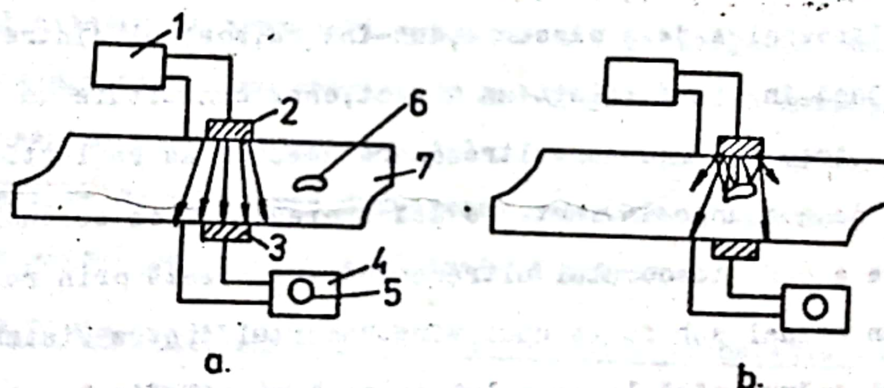


Fig.300. Schema controlului ultrasonic bazat pe principiul propagării directe a vibrațiilor ultrasonice
1-generator de ultrasunete; 2-emițător; 3-receptor; 4-amplificator; 5-indicator.

Pentru o mai bună aderență între emițător și piesă precum și între piesă și receptor suprafața de contact trebuie să fie netedă, curată (lipsită de oxizi) și unsă cu ulei mineral.

Metoda rezonanței permite descoperirea defectelor interne ale pieselor, precum măsurarea grosimii unor pereți care au o singură parte accesibilă. In principiu această metodă se bazează pe reacția

cuarţului emiţător atunci cînd unda reflectată are o amplitudine apropiată de aceea a undei incidente.Această reacţie este sensibilă în mod special cînd unda reflectată intră în fază cu unda incidentă,atunci cînd grosimea peretelui cercetat sau distanţa l între suprafaţă şi defect este egală cu un număr întreg de jumătăţi de lungime de undă,conform relaţiei:

$$l=k\frac{\lambda}{2} \qquad (9.2)$$

Pentru înregistrarea rezonanţelor obţinute se utilizează un oscilograf catodic,citirea făcîndu-se direct pe scala gradată a ecranului apreciindu-se distanţa pînă la defect sau grosimea peretelui cu o precizie de o,1%.

Metoda reflexiei se bazează pe măsurarea timpului necesar undelor ultrasonice de a parcurge,dus-întors,spaţiul dintre pereţii piesei.Dacă în piesă există un defect,care constituie un obstacol în calea trecerii undelor ultrasonore acestea se reflectă parţial înainte de a ajunge în partea opusă a piesei şi pe ecranul de semnalizare a defectoscopului ultrasonic ce lucrează prin reflexie va apare un semnal sub forma unui vîrf.Raportul dintre distanţa de la semnalul apărut pînă la semnalul iniţial şi cel final este egal cu raportul dintre distanţa de la defect la suprafaţa piesei.

9.1.3. Controlul structurii iniţiale

Structura iniţială a materialului sau semifabricatului din care este executat sau se execută produsul prezintă importanţă pentru tratamentele ulterioare. La o serie întreagă de materiale cum sînt oţelurile rapide,oţelurile de scule,oţelurile de rulmenţi, structura de livrare trebuie să corespundă unei recoaceri de globulizare corecte şi trebuie să aibă puritatea impusă de standarde.

Deasemeni oţelurile cu un procent ridicat de carburi trebuie

să aibă o distribuţie corespunzătoare a acestora, să nu fie în şiruri, aglomerate pe zone sau în reţea. Verificarea structurii se face prin analiză metalografică la microscopul optic sau prin măsurători de microduritate.

9.1.4. Aspectul exterior

Aspectul exterior se verifică prin observarea cu ochiul liber sau cu lupa şi prin măsurarea dimensiunilor cu aparate de măsură. Se urmăreşte calitatea suprafeţei şi dimensiunile semifabricatelor. Aceasta întrucît prin tratament termic dimensiunile şi calitatea suprafeţei se pot modifica. In cadrul controlului privind aspectul exterior al pieselor şi semifabricatelor ce urmează a fi tratate se verifică starea suprafeţei depistîndu-se toate defectele de suprafaţă existente: crăpături transversale şi longitudinale, sudurile la rece, porii, suprapunerile de material şi alte defecte care se văd cu ochiul liber. Alegerea modului de curăţire este condiţionată în principal de adîncimea defectelor, densitatea acestora şi dimensiunile piesei ce urmează a fi tratată termic.

9.2. Controlul desfăşurării procesului tehnologic de tratament termic şi termochimic

Activitatea de control a desfăşurării procesului tehnologic cuprinde: controlul temperaturii din utilajul de încălzire, controlul duratei de menţinere a pieselor, controlul debitelor şi presiunilor de gaze, controlul compoziţiei chimice a mediului în care are loc încălzirea, controlul compoziţiei chimice a gazelor evacuate, controlul modului de aşezare a pieselor în utilajul de încălzire, controlul mediului de răcire, controlul poziţiei produselor în utilajul de răcire, etc.

9.2.1. Controlul temperaturii

Pentru controlul temperaturii se folosesc aparate de precizie

ce se bazează pe dependenţa dintre temperatură şi proprietăţile fizice sau chimice ale corpurilor. Pe baza acestor dependente deosebim următoarele grupe de aparate:

- aparate bazate pe dilatarea corpurilor solide, lichide şi gazoase (termometre metalice, termometre cu lichid şi manometrice);
- aparate bazate pe schimbarea rezistenţei electrice cu temperatura (termometre cu rezistenţe electrice);
- Aparate bazate pe efectul termoelectric (pirometre termoelectrice);
- aparate bazate pe radiaţia corpurilor (pirometre cu radiaţie parţială şi totală).

Termometrele metalice (cu tijă şi cu bilame) se folosesc pînă la maximum 1000°C. Ele permit indicarea, reglarea şi înregistrarea temperaturii.

Termometrele cu lichid pot măsura temperaturi cuprinse între - 20 şi + 700°C. Se folosesc mai ales pentru mediile de răcire (apă şi ulei)

Termometrele manometrice sînt aparate care servesc la măsurarea temperaturii de la - 200°C la + 550°C. Precizia de măsurare este de 1 - 1,5%. Termometrele cu rezistenţă electrică sînt larg folosite la o serie de măsurători care cer o precizie mare (exemplu la tratamentul termic al aliajelor neferoase). Domeniul de utilizare este în funcţie de materialul din care se confecţionează elementul sensibil (termorezistenţa) conform tabelului 9.1. de mai jos

Tabelul 9.1.

Materialul termorezistenţei	Domeniul de utilizare de la	pînă la
Platină (Pt)	- 200	+ 600
Nichel (Ni)	- 70	+ 200
Cupru (Cu)	- 25	+ 150
Fier (Fe)	0	+ 100

Pirometrele termoelectrice (termocuplele) fig. 301 sînt cele mai răspîndite în secţiile de tratamente termice

servind la măsurarea temperaturilor în intervalul - 100°C pînă la + 1600°C sau chiar pînă la 3000°C.

Funcţionarea lor se bazează pe efectul termoelectric conform tabelului 9.2.de mai jos.Pirometrele cu radiaţie parţială (pirometre cu dispariţia filamentului) se folosesc la măsurarea temperaturilor cuprinse între 600°C şi 3000°C.

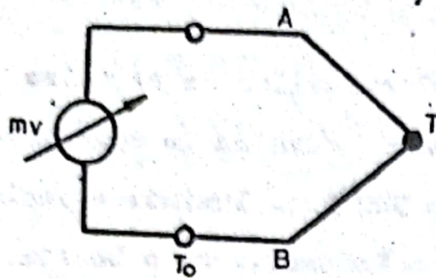


Fig. 301. Termocuplu.

Pirometrele cu radiaţie totală se bazează pe încălzirea unei baterii de termocuplu în urma absorbţiei căldurii radiate de corpul măsurat.Incălzirea este proporţiona-

Tabelul 9.2.

Materialele conductorilor termocuplului			F.t.e.m.p.t. temperatura maximă din incintă [Mmv]	Domeniul de măsurat		
Denumirea	Simbol şi polarit.	Compoziţia		Limita minimă [oC]	Limita maximă	
					Măsurare continuă	Măsurare intermitentă
Cupru/ constan.	Cu/Const. + -	100Cu/40Ni + 60Cu	34,30±0,60	- 200	400	600
Fier/ constan.	Fe/Const. + -	100Fe/40Ni + 60Cu	52,15±0,80	- 200	600	900
Cromel/ capel	Cromel/ capel + -	90Ni+10Cr/55 Cu + 45 Ni	74,90 ± 0,80	0	600	900
Nichel crom/Ni.	NiCr/Ni + -	84,6Ni+12,4Cr +3Fe/100Ni	49,02±0,60	0	600	1200
Cromel/ alumel	Cromel alumel + -	90Ni+10Cr/ 94Ni+2Al+Si +Mn+Fe	48,85+0,60	0	1100	1200
Cărbune/ nichel	C/Ni + -	100C(sau grafit)/100 Ni	34,40	0	1100	1200
Platin rodiu/ platin	PtRh/Pt + -	90Pt+10Rh/ 100 Pt	16,7 ± 0,05	0	1300	1600
Wolfram Molibden/ Wolfram	WMo/W + -	75W+25Mo/ 100 W	6	1250	2600	3000

lă cu puterea de emisie a corpului.Cu aceste aparate se măsoară temperaturi de la 500°C la 3000°C.In afară de aceste aparate de măsurare precisă,temperatura mai poate fi apreciată şi prin unele metode empirice cum ar fi:

- măsurarea temperaturilor cu ajutorul culorilor de revenire şi a culorilor de incandescenţă.Aceste metode constau în aprecierea cu ochiul liber a culorii neluminoase sub 500°C şi luminoase peste 500°C,sau din frecarea suprafeţei metalice încălzite cu o bucată de lemn uscat.Astfel,pînă la 200°C nu prezintă nici o coloraţie; de la 220°C-255°C coloraţia este de galben deschis la galben brun; 270°C - roşu purpuriu; 285°C-violet;300°C-400°C-albastru închis pînă la albastru cenuşiu; 500°C-700°C-roşu,pînă la roşu închis; 800°C-1000°C-roşu cireşiu închis,pînă la roşu cireşiu foarte deschis; 1100°C-1200°C-galben,pînă la galben foarte deschis;1300°C-1500°C-alb,pînă la alb sclipitor.Aprecierea temperaturii cu ajutorul culorilor se face cu o eroare de pînă la 50°C.

Sub temperatura de 350,lemnul aderă la suprafaţa metalică; între 350°C-400°C-lemnul alunecă; la 400°C lemnul fumegă;la 425°C scînteiază,la 450°C se aprinde,iar la 500°C lemnul arde;

- măsurarea cu ajutorul creioanelor termice (termocrete),care se bazează pe folosirea unor creioane din anumite substanţe careşi schimbă culoarea la depăşirea unei anumite temperaturi,numită temperatură de viraj.Ele sînt învelite parţial cu o hîrtie care are culoarea de viraj şi temperatura respectivă.

9.2.2. Controlul timpului

Pentru controlul duratei de încălzire,menţinere,răcire se pot folosi ceasuri semnalizatoare.In cadrul utilajelor mecanizate şi automatizate controlul timpului se face după anumite grafice. In ce priveşte măsurarea celorlalte mărimi (debite,presiuni,puncte

de rouă,grade de disociere) se folosesc diferite aparate cum ar fi: debitmetre,,manometre,disociometre,etc.

Controlul desfăşurării procesului tehnologic de tratament termic sau controlul interfazic permite depistarea pieselor cu defecte,verificarea funcţionării utilajelor,a respectării materialului şi a documentaţiei şi conduce la micşorarea numărului de defecte.

9.2.3. Defecte produse la încălzire şi menţinere

Aceste defecte se datoresc nerespectării parametrilor principali ce definesc această operaţie şi anume: viteza de încălzire,temperatura de încălzire şi durata de menţinere precum şi modul de încărcare sau aşezare a produselor în instalaţiile de încălzire.

a. Fisurarea la încălzire

Fisurarea la încălzire apare datorită tensiunilor interne termice mari la produsele din oţeluri cu o conductivitate şi difuzivitate termică scăzută,cu o configuraţie geometrică complexă.Atunci cînd viteza de încălzire este prea mare,fisurile conduc la rebutarea produsului şi sînt în general decarburate în timpul menţinerii,dacă mediul de încălzire este bogat în O_2,CO_2,H_2O.Fisurile pot fi evitate prin încălzirea în trepte,numărul treptelor sau al preîncălzirilor fiind stabilit funcţie de oţel şi complexitatea produsului.

b. Supraîncălzirea

Supraîncălzirea,fig.3e2,apare la depăşirea temperaturii recomandate de încălzire şi este însoţită de creşterea puternică a grăunţilor în special în cazul oţelurilor nealiate.Creşterea grăunţilor are efecte nefavorabile la răcire întrucît conduce,în funcţie de viteza de răcire la structuri grosolane.Dacă răcirea se face rapid structura este formată din martensită fragilă,grosolană

şi poate apare pericolul de fisurare.Fisurile apărute în acest caz sînt nedecarburate şi conduc la rebutarea produsului.In cazul cînd după răcire structura este grosolană,nu prezintă fisuri,sau prezintă fisuri ce pot fi îndepărtate după revenire prin prelucrare,defectul de supraîncălzire poate fi corectat printr-un tratament termic de normalizare.

c. Subîncălzirea

Subîncălzirea apare atunci cînd temperatura de tratament termic este prea scăzută.Acest defect nu este un motiv de rebutare a produsului întrucît o reîncălzire la temperatura corespunzătoare face să dispară structura caracteristică subîncălzirii.

d. Oxidarea şi arderea

Oxidarea,fig.303 a.b,este de două feluri:

- superficială,cînd se formează un strat de oxid la suprafaţa pieselor;

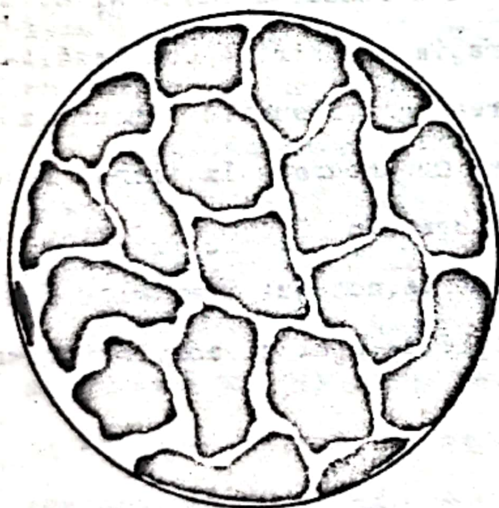


Fig.302.Structura grosolană a unui oţel carbon cu 0,45%C supraîncălzit la recoacere.

- intercristalină,cînd se produce prin pătrunderea oxigenului în spaţiile dintre grăunţii materialului provocînd oxidarea parţială a acestora.

Arderea este un defect iremediabil ce constă în deteriorarea definitivă a materialului în urma încălzirii excesive într-o atmosferă oxidantă.Arderea este o oxidare intercristalină totală a limitelor grăunţilor.

e. Decarburarea

Decarburarea,fig.304 constă în micşorarea conţinutului de



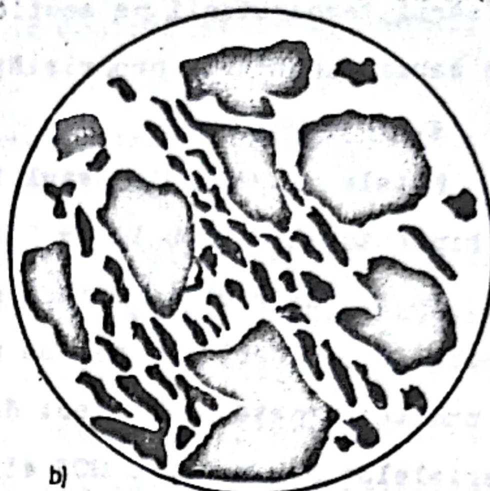


Fig.303 a.b.Structura unui oţel carbon ars (a) şi a unui oţel rapid ars (b)

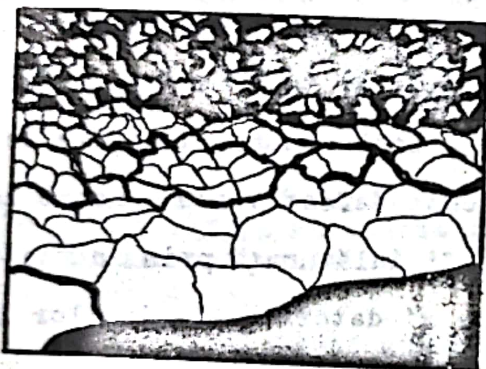


Fig.304.Microstructura unui oţel decarburat.

carbon în stratul superficial al produsului executat din oţel sau fontă,datorită menţinerii îndelungate într-o atmosferă bogată în vapori de apă,oxigen,CO_2 şi H_2.Dacă nu sînt posibilităţi de restabilire a conţinutului de C la suprafaţă printr-o eventuală carburare,sau stratul decarburat nu poate fi îndepărtat prin prelucrări mecanice ulterioare,produsele decarburate se rebutează.

f. Structura grosolană

Structura grosolană poate fi datorată supraîncălzirii şi menţinerii îndelungate la temperaturi normale.Din această cauză menţinerea pentru călire sau recoacere (cu excepţia recoacerii de înmuiere şi omogenizare) nu depăşeşte decît cu 1-lo minute durata e-

galizării temperaturii pe secţiunea produsului. Structura grosolană este cauza micşorării proprietăţilor mecanice de rezistenţă.

g. Pete moi

Petele moi apar în cazul încălzirii pentru călire a oţelurilor hipoeutectoide sub linia GOS (încălzire incompletă).

In timpul răcirii pentru călire, austenita se transformă în martensită iar ferita α rămîne netransformată, ea constituind astfel aşa numitele "pete moi". Acest defect se înlătură prin încălzirea materialelor peste linia GOS cînd toată ferita se transformă în austenită, iar la răcire austenita se transformă în martensită.

h. Deformarea şi strîmbarea

Deformarea şi strîmbarea este determinată de mărimea temperaturii de încălzire şi modul de încărcare-aşezare a produselor în cuptorul de încălzire. In funcţie de aceşti factori pot apare solicitări mari sub greutatea proprie a încărcăturii însoţite de deformare. Dacă deformarea este mare acest defect poate conduce la rebutarea produsului. Strîmbarea poate fi înlăturată prin îndreptare sau redresare. Deformările pot apare şi datorită tensiunilor interne cauzate de încălziri cu viteze mari.

i. Supracarburarea

Acest defect apare la tratamentul termic de îmbogăţire în C într-un mediu de carburare prea energic şi la durate prea mari. După călire, supracarburarea crează fragilitatea stratului atunci cînd nu se iau măsuri de remediere.

j. Fragilitatea stratului nitrurat

Fragilitatea stratului nitrurat apare la tratamentul de nitrurare şi este provocat de suprasaturarea stratului cu azot cauzată de o durată prea mare şi un grad de disociere prea ridicat.

9.2.4. Defecte produse în procesul răcirii

Modul de răcire după încălzire şi răcire defineşte adesea

galizării temperaturii pe secţiunea produsului.Structura grosolană este cauza micşorării proprietăţilor mecanice de rezistenţă.

g. Pete moi

Petele moi apar în cazul încălzirii pentru călire a oţelurilor hipoeutectoide sub linia GOS (încălzire incompletă).

In timpul răcirii pentru călire,austenita se transformă în martensită iar ferita α rămîne netransformată,ea constituind astfel aşa numitele "pete moi".Acest defect se înlătură prin încălzirea materialelor peste linia GOS cînd toată ferita se transformă în austenită,iar la răcire austenita se transformă în martensită.

h. Deformarea şi strîmbarea

Deformarea şi strîmbarea este determinată de mărimea temperaturii de încălzire şi modul de încărcare-aşezare a produselor în cuptorul de încălzire.In funcţie de aceşti factori pot apare solicitări mari sub greutatea proprie a încărcăturii însoţite de deformare.Dacă deformarea este mare acest defect poate conduce la rebutarea produsului.Strîmbarea poate fi înlăturată prin îndreptare sau redresare.Deformările pot apare şi datorită tensiunilor interne cauzate de încălziri cu viteze mari.

i. Supracarburarea

Acest defect apare la tratamentul termic de îmbogăţire în C într-un mediu de carburare prea energic şi la durate prea mari.După călire,supracarburarea crează fragilitatea stratului atunci cînd nu se iau măsuri de remediere.

j. Fragilitatea stratului nitrurat

Fragilitatea stratului nitrurat apare la tratamentul de nitrurare şi este provocat de suprasaturarea stratului cu azot cauzată de o durată prea mare şi un grad de disociere prea ridicat.

9.2.4. Defecte produse în procesul răcirii

Modul de răcire după încălzire şi răcire defineşte adesea

tipul tratamentului termic aplicat.Ea este în general rapidă şi de aceea foarte periculoasă în cazul călirii şi lentă dar mai puţin periculoasă în cazul recoacerii.

Defectele cele mai frecvente cauzate de răcire sînt:

a. Fisurarea

Fisurarea,fig.305,este datorată puternicelor tensiuni interne ce apar la călirea produselor cu o geometrie complexă în medii de călire prea energice.Fisurile de călire sînt nedecarburate şi pot fi rezultatul unor supraîncălziri sau unor durate prea lungi de menţinere.Pentru evitarea fisurilor se pot aplica procedee de călire întreruptă în trepte sau izotermă.



Fig.305.Fisură de călire obţinută după o călire cu viteză mare într-un oţel rapid.

b. Pete moi

Aceste pete moi sînt regiuni de duritate redusă ca urmare a unor structuri anormale sau neuniforme.Ele apar datorită formării unei pelicule de vapori în jurul piesei la răcire,prezenţa oxizilor pe suprafaţa piesei,încălzirea neuniformă pentru călire,decarburarea la oţelurile hipoeutectoide la călire incompletă şi la contactul între produse în momentul răcirii.Pot fi înlăturate prin repetarea tratamentului termic.

c. Deformarea şi strîmbarea

Aceasta este datorată unui mediu de răcire prea energic sau a unei poziţii incorecte a pieselor în timpul răcirii.Produsele lungi se vor căli întotdeauna în poziţie verticală.

Cauza deformărilor produse la răcire o constituie tensiunile interne (termice şi structurale) de valori mari.

tipul tratamentului termic aplicat.Ea este în general rapidă şi de aceea foarte periculoasă în cazul călirii şi lentă dar mai puţin periculoasă în cazul recoacerii.

Defectele cele mai frecvente cauzate de răcire sînt:

a. Fisurarea

Fisurarea,fig.305,este datorată puternicelor tensiuni interne ce apar la călirea produselor cu o geometrie complexă în medii de călire prea energice.Fisurile de călire sînt nedecarburate şi pot fi rezultatul unor supraîncălziri sau unor durate prea lungi de menţinere.Pentru evitarea fisurilor se pot aplica procedee de călire întreruptă în trepte sau izotermă.

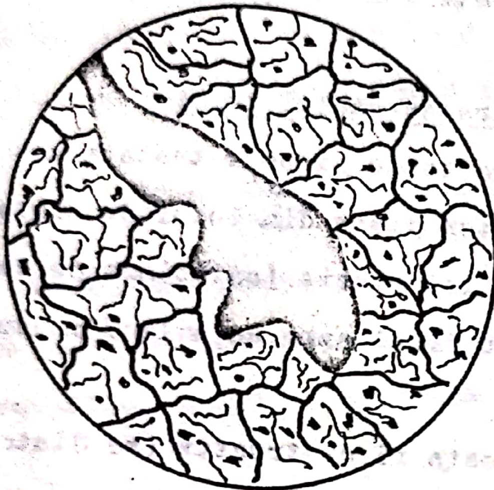


Fig.305.Fisură de călire obţinută după o călire cu viteză mare într-un oţel rapid.

b. Pete moi

Aceste pete moi sînt regiuni de duritate redusă ca urmare a unor structuri anormale sau neuniforme.Ele apar datorită formării unei pelicule de vapori în jurul piesei la răcire,prezenţa oxizilor pe suprafaţa piesei,încălzirea neuniformă pentru călire,decarburarea la oţelurile hipoeutectoide la călire incompletă şi la contactul între produse în momentul răcirii.Pot fi înlăturate prin repetarea tratamentului termic.

c. Deformarea şi strîmbarea

Aceasta este datorată unui mediu de răcire prea energic sau a unei poziţii incorecte a pieselor în timpul răcirii.Produsele lungi se vor căli întotdeauna în poziţie verticală.

Cauza deformărilor produse la răcire o constituie tensiunile interne (termice şi structurale) de valori mari.

d. Fragilitatea la revenire

Fragilitatea la revenire apare în oţelurile slab aliate cu Cr, V (în care lipseşte Mo), atunci cînd răcirea după revenirea înaltă se face prea lent în intervalul 500-400°C. O tehnologie corectă trebuie să evite apariţia defectelor de încălzire şi răcire. Controlul interfazic depistează aceste defecte şi le înlătură la timp.

9.3. Controlul rezultatelor tratamentului termic

Acest control se poate face la toate piesele tratate termic sau prin alegerea uneia sau mai multor piese din lotul de tratament. De asemenea se poate face controlul interfazic (adîncimea de cementare, duritatea după călire, etc.) sau final care se aplică produselor tratate termic în stare finală.

In toate cazurile controlul poate fi distructiv (se distruge parţial sau total produsul) sau nedistructiv cînd nu este necesar să distrugem produsul.

Metodele de control distructiv de aplică în stare finală produsului fie prin alegerea unei piese reprezentative dintr-un lot, fie pe piese "martor", fie pe anumite apendice lăsate în prelungirea pieselor sau detaşate de ele.

Controlul nedistructiv se bazează pe proprietăţile fizice ale materialului (conductibilitate electrică şi termică), proprietăţi magnetice (inducţie remanentă, permiabilitate), proprietăţi acustice, capilaritate, fluorescenţă, etc.

9.3.1. Măsurarea durităţii

Măsurarea durităţii este un control de bază în secţiile de tratament termic. Duritatea se măsoară cu aparate fixe (Brinell, Vickers, Rockwell) aflate în laboratorul atelierului sau cu aparate mobile (Poldy, Brinell, Shore).

Metoda Brinell

Se aplică produselor tratate termic prin recoacere, îmbunătățire și călire de punere în soluție.

Principiul acestei metode constă în acțiunea unei forțe F, asupra piesei într-un timp limitat, prin intermediul unui penetrator cu bilă (din oțel) cu diametrul D. După apăsarea cu bila, pe piesă rămîne amprenta acesteia cu diametrul d și adîncimea h. Valoarea durității Brinell se calculează cu ajutorul relației:

$$HB = \frac{F}{D.h} = \frac{2F}{\pi D(D-\sqrt{D^2-d^2})} \qquad (9.3)$$

Calculul durității Brinell se face pe baza tabelelor existente în STAS 1o65-66 care indică valoarea acesteia în funcție de diametrul urmei d, sarcina aplicată F și gradul de solicitare:

$$K = \frac{F}{D^2} \qquad (9.4)$$

Coeficientul de echivalare C care exprimă rezistența la rupere în funcție de duritatea Brinell ($C=\frac{Rm}{HB}$) are valori diferite, în funcție de natura materialului ca în tabelul 9.3

Tabelul 9.3

Nr. crt.	Materialul	Starea materialului	C
1	Oțel carbon	Laminat, recopt, forjat	o,3o...o,34
		Normalizat sau îmbunătățit	o,32...o,35
2	Oțel slab aliat	Laminat, recopt, forjat	o,34...o,36
		Normalizat sau îmbunătățit	o,33...o,36
3	Alame	Turnate recoapte	o.4....o.5 o,45....o,55
		Laminate ecruisate	o,3o...o,4o
4	Bronzuri	Turnate e recoapte	0,25 .... 0,35 o,45...o,55
		Ecruisate	o,3o...o,4o
5	Aliaje de aluminiu	Turnate	o,25...o,3o
		Ecruisate sau îmbătrînite	o,4o...o,45

Pentru fontele cenuşii turnate se foloseşte următoarea relaţie

$$R_m = \frac{HB - 40}{6} \qquad (9.5)$$

Metoda Vickers

Această metodă se aplică pieselor călite şi revenite.

In acest caz penetrantul este un diamant în formă de piramidă,cu secţiunea patrată,cu unghiul diedru la vîrf al feţelor de 136°.Sarcina se menţine 1o...15 secunde la oţeluri,3o...35 secunde la aliaje neferoase şi 12o...125 secunde în cazul metalelor moi.

Determinarea durităţii se face cu relaţia :

$$HV = 0{,}1891 \frac{F}{d^2} \qquad (9.6)$$

în care:

F = sarcina exprimată , [N]

d = diagonala urmei, [mm]

Metoda Rockwell

Se aplică pieselor călite.

La această metodă se foloseşte penetrator sub formă de con din diamant,cu unghiul la vîrf de 120°(duritatea Rockwell C) şi sub formă de bilă din oţel cu diametrul de 1,5875 mm.(duritate Rockwell B).

Determinarea durităţii constă în aplicarea unei sarcini iniţiale F_o,care asigură contactul intim dintre piesă şi penetrator, după aducerea reperului în dreptul acului indicator,se adaugă la sarcina iniţială o suprasarcină F_1.Viteza de aplicare a suprasarcinii este de o,8...1,o m/s,iar durata de menţinere de 1o...15 s.Operaţia următoare în măsurătoare este îndepărtarea suprasarcinii şi menţinerea numai a sarcinii iniţiale,citindu-se pe cadranul comparatorului duritatea Rockwell.

Metoda Shore

Această metodă pentru determinarea durității unui material metalic constă în măsurarea înălțimii de ridicare a unui percutor din oțel,de masă dată (2,5 sau 36,2 g),care cade liber și perpendicular pe suprafața produsului de încercare.

Duritatea Shore este înălțimea la care ricoșează percutorul și se exprimă în unități convenționale Shore (ex: 85 HS).

Metoda Poldy - Brinell

Această metodă constă în imprimarea unei bile de oțel în piesa de încercat și concomitent într-un etalon format dintr-o bară de oțel.Sarcina se aplică prin lovitură cu un ciocan de mînă. Bila din oțel are diametrul de 10 ± 0,01 mm și duritatea maximă de 900 HV.Forța de lovire cu ciocanul nu are influiență asupra determinării,pentru că bila pătrunde concomitent în piesă și bara etalon.Pe etalon este imprimată duritatea ce o are acesta.După efectuarea încercării se măsoară diametrele amprentelor de pe bara etalon și de pe piesă și cu ajutorul unor tabele se determină duritatea (HB).

Incercările de duritate se folosesc în cazul depistării petelor moi și a subîncălzirii.

Pentru observarea fisurilor provenite de la procesul de încălzire sau răcire se folosesc mai multe metode cum sînt: observarea cu ochiul liber,cu lupa,cu microscopul,prin folosirea unor lichide penetrante (motorină,petrol),sau folosirea unor lichide fluorescente în lumină ultravioletă.In cazul folosirii unui lichid penetrant,suprafața de cercetat se curăță bine,se decapează și se spală,apoi după uscare se acoperă suprafața cu un lichid penetrant. Se așteaptă 5-7 minute,timp în care soluția pătrunde în defecte. Timpul de 7 minute este necesar mai ales pentru controlul defecte-

lor fine,unde soluţia pătrunde greu.După aceasta,suprafaţa se curăţă cu o soluţie de spălare pe bază de alcool pînă la îndepărtarea culorii roşii a penetrantului.Se pulverizează o soluţie albă,developantă,care absoarbe soluţia roşie pătrunsă în defect.

Defectul se conturează colorat în roşu pe un fond alb.La fel se folosesc şi lichidele fluorescente în lumină ultravioletă.

9.3.2. Controlul structurii după tratamentul termic

Se poate face macroscopic,microscopic şi magnetic.

Controlul macroscopic constă în examinarea aspectului structurii pe suprafeţe de rupere (casuri) relativ mari,cu ochiul liber sau cu o lupă care măreşte pînă la 50:1.Cu ajutorul controlului macroscopic se poate determina grosimea stratului cementat (aproximativ),grosimea stratului călit superficial,microfisurile sau fulgii (în cadrul matriţelor),structura după aspectul rupturii (fină,grosolană),incluziuni,pori,etc.

Controlul microscopic se face pe probe pregătite special la microscoape optice sau electronice.Prin această metodă se pot observa straturile decarburate,faptul dacă materialul a fost supraîncălzit (prin mărimea grăunţilor), dacă materialul a fost ars (se observă oxidarea intercristalină).

Metoda magnetică se utilizează în special pentru determinarea cantităţii de austenită reziduală (în special în cazul sculelor din oţel rapid), Aparatul se numeşte austenitometru magnetic şi se bazează pe variaţia caracteristicilor magnetice (saturaţia magnetică M_s,intensitatea cîmpului magnetic H,inducţia magnetică B şi permeabilitatea magnetică maximă μ_r în funcţie de cantitatea de austenită reziduală.Se calculează cu formula:

$$A_{rez} = \frac{M_{se} - M_{sp}}{Ms_e} \cdot 100, \ [\%] \qquad (9.7)$$

unde $Ms_e = H(\mu_r - 1)$ (9.8)

iar $\mu_r = \frac{B}{\mu_0 \cdot H}$ (9.8)

Ms_e = magnetizarea de saturaţie a etalonului

Ms_p = magnetizarea de saturaţie a probei.

Inducţia şi forţa coercitivă a cîmpului magnetic se determină pe probe magnetizate la saturaţie cu ajutorul unui galvanometru balistic. In cazul existenţei unor defecte interne, acestea se pot depista cu ajutorul metodelor de control cu ultrasunete. Aceste metode se folosesc la fel ca la capitolul "Recepţia materiilor prime".

Acolo unde se impun caracteristici mecanice de rezistenţă, alungire şi rezilienţă, din piesă sau din probele martor se prelevează epruvete care sînt supuse încercărilor amintite. Toate operaţiile de verificare menţionate începînd cu intrarea semifabricatului sau a materiei prime şi terminînd cu expedierea produselor tratate trebuie efectuate cu mult simţ de răspundere pentru ca procesul de tratament termic să conducă la obţinerea unor produse de calitate cu un cît mai mic procentaj de rebut.

Cap. X. NORMAREA TEHNICA ŞI EVIDENŢA TEHNOLOGICA A OPERAŢIILOR DE TRATAMENT TERMIC ŞI TERMOCHIMIC

10.1 - Normarea tehnică

Normarea tehnică este o operaţie de calcul indispensabilă oricărui tratament termic sau termichimic, determinîndu-se timpul de realizare a produsului şi respectiv preţul de cost.

Avînd în vedere caracterul dinamic al tuturor activităţilor de producţie, este necesară continuarea cercetărilor în acest domeniu precum şi corectarea continuă a normativelor în raport cu condiţiile specifice,tehnico-organizatorice, cum ar fi:

- creşterea gradului de dotare cu instalaţii de mare productivitate;
- organizarea locului de muncă şi raţionalizarea mişcărilor printr-un studiu atent al muncii;
- introducerea în producţie a invenţiilor şi inovaţiilor;
- ridicarea calificării personalului din secţiile de tratamente termice.

In vederea calculului corect a normei de timp a tratamentului termic se va efectua un studiu a fiecărei operaţiuni ce compun operaţia de tratament termic.

În cazul în care la aplicarea normelor de muncă nu se pot asigura condiţiile privind măsurile tehnice şi organizatorice prevăzute în normative, se pot aplica norme de

muncă care să corespundă stadiului de introducere în practică a condițiilor de muncă.

Perioada de introducere a noilor condiții tehnice și organizatorice sau de acomodare a personalului pentru a lucra în condițiile respective este de pînă la 6 luni și se stabilește în prealabil de către colectivul de conducere operativă a unității cu acordul comitetului sindical.

Pentru calculul normei de timp la operațiile de tratament termic și termochimic, indiferent de utilaje și metode de lucru există o expresie generală:

$$N_T = \frac{T_{pi}}{n} + T_{op} + T_{dt} + t_{on} = \frac{T_{pi}}{n} + \frac{T_i \cdot K_e}{n_1} + t_a'' + T_{dt} + t_{on}$$

T_{pi} = timpul de pregătire-încheiere, minute/lot ;

n = numărul de piese din lot , buc. ;

T_{op} = timpul operativ, minute ;

T_i = timpul ciclului termic (încălzire menținere răcire), minute ;

K_e = coeficient de supraveghere (0,1 pentru aparatură de control automată și 0,11 ÷ 03 pentru indicatoare de temperatură) ;

n_1 = numărul de bucăți introduse în cuptor ;

t_a'' = timpul ajutător (introducerea și scoaterea pieselor, transportul în cadrul locului de muncă), **minute;**

T_{dt} = timpul de deservire tehnică și organizatorică, **minute;**

t_{on} = timpul de odihnă, **minute.**

Timpul de pregătire-încheiere (T_{pi}) cuprinde următoarele elemente de muncă:

muncă care să corespundă stadiului de introducere în practică a condiţiilor de muncă.

Perioada de introducere a noilor condiţii tehnice şi organizatorice sau de acomodare a personalului pentru a lucra în condiţiile respective este de pînă la 6 luni şi se stabileşte în prealabil de către colectivul de conducere operativă a unităţii cu acordul comitetului sindical.

Pentru calculul normei de timp la operaţiile de tratament termic şi termochimic, indiferent de utilaje şi metode de lucru există o expresie generală:

$$N_T = \frac{T_{pi}}{n} + T_{op} + T_{dt} + t_{on} = \frac{T_{pi}}{n} + \frac{T_i \cdot K_e}{n_1} + t_a' + T_{dt} + t_{on}$$

T_{pi} = timpul de pregătire-încheiere, minute/lot ;

n = numărul de piese din lot , buc.;

T_{op} = timpul operativ, minute ;

T_i = timpul ciclului termic (încălzire menţinere răcire), minute ;

K_e = coeficient de supraveghere (0,1 pentru aparatură de control automată şi 0,11 ÷ 03 pentru indicatoare de temperatură) ;

n_1 = numărul de bucăţi introduse în cuptor ;

t_a'' = timpul ajutător (introducerea şi scoaterea pieselor, transportul în cadrul locului de muncă), **minute;**

T_{dt} = timpul de deservire tehnică şi organizatorică, **minute;**

t_{on} = timpul de odihnă, **minute.**

Timpul de pregătire-încheiere (T_{pi}) cuprinde următoarele elemente de muncă:

- primirea sarcinii de lucru şi a documentaţiei (4 minute);
- primirea materialelor pentru tratamentul termic sau termochimic (3 minute) ;
- aducerea dispozitivelor la locul de muncă (3 - 5 minute);
- controlul unei piese din lot (3 minute);
- reglarea temperaturii (4 minute) ;
- predarea lucrării (2 minute).

Aceşti timpi se acordă separat pentru un lot de piese identice, el se acordă o singură dată pentru întreg lotul.

Timpul de deservire a locului de muncă (T_{dt}), este timpul în cursul căruia un executant asigură pe întreaga perioadă a schimbului de muncă, atît menţinerea în stare de funcţionare a utilajelor cît şi ordinea şi curăţenia la locul de muncă.

Acest timp cuprinde următoarele elemente de muncă:

- menţinerea concentraţiei băii de săruri (3 % din T_{op});
- curăţirea dispozitivelor de lucru (2,5 - 3 % din T_{op});
- completarea uleiului în băile de călire (2,5 - 5 % din T_{op});
- ungerea părţilor în mişcare a cuptoarelor (2,5 - 4 % din T_{op});
- curăţirea locului de muncă (4 - 5 % din T_{op}).

Timpul de odihnă (t_{on}) se calculează în funcţie de timpul productiv (T_p) întrucît în majoritatea cazurilor timpul operativ este sub 80 % din durata totală a operaţiei

$$T_p = \frac{P_{pi}}{n} + T_{op} + T_{dt} \quad \text{(în minute-om)}$$

T_{pi} = timpul de pregătire încheiere (în minute-om) ;
T_{op} = timpul operativ (în minute-om).

Timpul operativ (T_{op}) reprezintă timpul în care se re-

- primirea sarcinii de lucru şi a documentaţiei (4 minute);
- primirea materialelor pentru tratamentul termic sau termochimic (3 minute);
- aducerea dispozitivelor la locul de muncă (3 - 5 minute);
- controlul unei piese din lot (3 minute);
- reglarea temperaturii (4 minute);
- predarea lucrării (2 minute).

Aceşti timpi se acordă separat pentru un lot de piese identice, ei se acordă o singură dată pentru întreg lotul.

Timpul de deservire a locului de muncă (T_{dt}), este timpul în cursul căruia un executant asigură pe întreaga perioadă a schimbului de muncă, atît menţinerea în stare de funcţionare a utilajelor cît şi ordinea şi curăţenia la locul de muncă.

Acest timp cuprinde următoarele elemente de muncă:

- menţinerea concentraţiei băii de săruri (3 % din T_{op});
- curăţirea dispozitivelor de lucru (2,5 - 3 % din T_{op});
- completarea uleiului în băile de călire (2,5 - 5 % din T_{op});
- ungerea părţilor în mişcare a cuptoarelor (2,5 - 4 % din T_{op});
- curăţirea locului de muncă (4 - 6 % din T_{op}).

Timpul de odihnă (t_{on}) se calculează în funcţie de timpul productiv (T_p) întrucît în majoritatea cazurilor timpul operativ este sub 80 % din durata totală a operaţiei

$$T_p = \frac{P_{pi}}{n} + T_{op} + T_{dt} \quad \text{(în minute-om)}$$

T_{pi} = timpul de pregătire încheiere (în minute-om);

T_{op} = timpul operativ (în minute-om).

Timpul operativ (T_{op}) reprezintă timpul în care se re-

alizează efectiv operația de tratament termic sau termochimic. În cazul tratamentelor termice acest timp depinde de calitatea materialului, dimensiunile piesei și tipul tratamentului termic aplicat. În cazul tratamentelor termochimice depinde de elementul de difuzie și adîncimea stratului de difuzie.

10.2 - Evidența tehnologică

Evidența tehnologică este o operație complexă care reunește toate prescripțiile tehnologice necesare realizării produsului.

Completarea planului de operații este etapa finală a proiectării tehnologiei de tratament termic. La întocmirea planului de operații trebuie să se țină seama de următorii factori:

- locul ocupat, în fluxul tehnologic, de operația de tratament termic ;
- încărcarea utilajelor în secția de tratament termic ;
- volumul producției realizate (unicat, serie) ;
- geometria piesei și calitatea materialului.

La alegerea variantei optime de tratament termic de o importanță capitală este cunoașterea comportării aliajului sub influența ciclului de tratament termic.

Varianta de tratament termic este precizată atunci cînd s-a stabilit succesiunea operațiilor și utilajele necesare.

Omologarea unei tehnologii confirmă valabilitatea variantei tehnologice adoptate și a tuturor prescripțiilor înscrise în planul de operații. Omologarea unei tehnologii se realizează prin sacrificarea unor produse analizîndu-se structura și proprietățile mecanice obținute după aplicarea tratamentului termic.

Tehnologia omologată se transcrie în planul de operaţii şi devine obligatorie pentru secţia de tratamente termice.

Planul de operaţii precizează pe de o parte toate datele de identificare a produsului (greutate, material, dimensiuni şi proprietăţile finale cerute), iar pe de altă parte modul cum pot fi obţinute proprietăţile finale ale piesei.

Planul de operaţii conţine succesiunea operaţiilor, ciclul de tratament, timpi de lucru pentru operaţia de tratament termic şi operaţiile auxiliare, desenul produsului şi cotele ce trebuiesc controlate după tratament termic. Nerespectarea planului de operaţii constituie o abatere de la disciplina tehnologică şi se sancţionează prin imputarea pagubelor produse.

Pentru întărirea răspunderilor în îndeplinirea sarcinilor, planul de operaţii cuprinde şi numele celor care răspund de efectuarea operaţiilor de tratament termic.

Un model de plan de operaţii este prezentat în fişa tehnologică următoare.

I.P. IAȘI FAC. DE MECANICĂ secț. tratament termic	TRATAMENT TERMIC fișa tehnologică nr.		
comanda :	denumirea piesei	nr. desen	Masa (kg)

I. MARCĂ MATERIAL ȘI COMPOZIȚIE CHIMICĂ (%)

STAS :	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	V	

II. CARACT. MEC. IMPUSE DUPĂ EXECUȚIA OPERAȚIEI NR. -

Incercări după tratament termic			Duritate	R daN/mm²	Rc daN/mm²	As %	Z %	KCU daJ/cm²		

III. INTINERAR TEHNOLOGIC ȘI DE RECEPȚIE D.P.D.V. METALURGIC

	OPERAȚIA		OPERAȚIA		OPERAȚIA

IV. PARAMETRII TRATAMENTULUI TERMIC

OPERAȚIA	nc	Tip utilaj	Temp. mat. la încărcare	temp. cupt. la încărcare	Viteza de încălzire	Temp. de încălzire	Temp. de menținere	Condiții de răcire

OBSERVAȚII TEHNOLOGICE : SCHIȚA și DIMENSIUNI			RECEPȚIE :
ANEXE			
Proiectat	Verificat	Aprobat	MODIFICĂRI

Cap.XI. TEHNICA SECURITATII MUNCII IN ATELIERELE DE TRATAMENTE TERMICE SI TERMOCHIMICE

11.1. Accidente de muncă.Factorii care pot provoca accidente de muncă

Accidentul de muncă constituie un eveniment ce survine în timpul muncii şi poate avea consecinţe dăunătoare atît pentru om cît şi pentru aparatura şi instalaţia cu care lucrează.

Cauzele care provoacă accidente au la bază o serie de factori.Aceştia se împart în:

- factori tehnici
- factori umani.

Ponderea cea mai mare o au factorii umani,cca 80% din accidente se datoresc acestora.De aceea,această categorie de factori a fost supusă mai acut studiului,astfel că în construcţia maşinilor,instalaţiilor şi a dispozitivelor de siguranţă se ţine seamă şi de cerinţele psihologice ale omului,de posibilităţile lui de observare şi detectare a semnalelor,elementele care uşurează efectuarea mişcărilor.

In urma studierii cauzelor care au generat accidente,s-a observat că există unii oameni ai muncii care au mai multe accidente decît alţii şi deci anumite particularităţi psihice îi fac să comită accidente.

Cea mai importantă particularitate psihică o reprezintă lipsa echilibrului emotiv.Pierderea cu uşurinţă a stăpînirii de sine, intrarea în panică,starea de derută este o cauză a accidentelor de muncă.

In cazul activităţilor periculoase,mare importanţă prezintă rapiditatea de reacţie la diverse semnale.

Asupra accidentelor influenţează de asemeni inteligenţa şi pregătirea profesională a omului.Astfel,producerea accidentelor va fi mai mică la persoanele cu o calificare superioară şi mai mare la cele cu nivel redus de calificare.

11.1.2. Rolul protecţiei muncii

In ţara noastră,problema tehnicii şi securităţii muncii face parte integrantă din procesul de producţie şi este considerată o problemă de stat.

Un rol important revine organelor şi organizaţiilor sindicale.Acestea exercită o acţiune educativă pentru crearea unei puternice opinii de masă care să condamne nepăsarea faţă de prescripţiile şi normele de securitate a muncii.

Pentru ca fiecare om al muncii să cunoască folosirea echipamentului şi dispozitivelor de protecţie,există diferite modalităţi de popularizare cum ar fi: afişe,filme,conferinţe,pliante,broşuri.

In scopul formării unor cadre corespunzătoare,se efectuiază examinarea aptitudinilor şi a trăsăturilor globale ale personalităţii oamenilor muncii,se fac teste potrivit cu diversele nivele de complexitate a locurilor de muncă din cadrul profesiunii.

11.1.3. Influenţa factorilor psihologici

In scopul relevării momentelor critice care preced accidente survenite ca urmare a influenţei factorilor psihologici,s-au construit aparate speciale de modelare a activităţii de muncă (simulatoare) cu care se pot reproduce situaţiile critice.Prevenirea accidentelor are drept scop,pe lîngă evitarea unor pagube materiale,adesea foarte importante, şi apărarea celui mai important capital - omul.

11.1.4. Imbolnăvirile profesionale

Factorii care cauzează boli profesionale se pot clasifica în:

- fizici
- chimici
- biologici
- suprasolicitarea unor organe în timpul muncii.

In cadrul industriei siderurgice și a celei constructoare de mașini se folosesc unele substanțe chimice cu acțiune dăunătoare asupra organismului.Acestea au făcut obiectul numeroaselor cercetări medicale pentru elaborarea de metode în scopul combaterii îmbolnăvirilor profesionale.

Cercetările medicale au stabilit concentrațiile maxime de substanțe dăunătoare admisibile în atmosferă.

Formele incipiente ale intoxicațiilor cu substanțe chimice aduc o scădere considerabilă a randamentului și o stare de oboseală precoce,fapt care determină sporirea frecvenței și gravității accidentelor de muncă.

Printre substanțele care în concentrație mai mare au efect nociv,se menționează: sulfura de carbon,hidrogenul sulfurat,hidrocarburile aromatice,acidul clorhidric,acidul azotic,diverși solvenți organici.

Intoxicațiile se manifestă prin: dureri de cap,oboseală,tulburări de atenție,iritabilitate,euforie.In toate cazurile,cel în cauză trebuie supus unui examen medical pentru a se vedea dacă este vorba de o sensibilitate la o anumită substanță sau de intoxicație.

Pătrunderea substanțelor în organism se face prin:

- respirație;
- prin piele.

11.1.5. Oboseala în muncă și combaterea ei

Oboseala influențează atît asupra producerii accidentelor de

muncă cît și asupra îmbolnăvirilor profesionale deoarece:

- scade receptivitatea organismului și promptitudinea în acțiuni ;
- scade rezistența organismului la acțiunea toxicității;
- favorizează apariția emoțiilor, deci pierderea controlului în situații critice.

Curba accidentelor arată influența oboselii, deoarece se constată că cele mai multe se produc între orele 11 și 15.

Măsuri pentru combaterea oboselii:

- organizarea corectă a muncii și a locului de muncă ;
- folosirea rațională a timpului liber atît pentru somn cît și pentru odihnă activă (este indicat sportul în aer liber).

11.1.6. Măsuri tehnice de igienă

In toate laboratoarele și atelierele de tratamente termice se iau măsuri pentru ca personalul să nu vină în contact cu substanțele toxice. Măsurile ce se iau sînt:

a) înlocuirea substanțelor cu toxicitate mare cu alte substanțe mai puțin toxice sau netoxice;

b) automatizarea și mecanizarea proceselor tehnologice, sporirea etanșării și ermetizării utilajelor;

c) revizuirea periodică a mașinilor și instalațiilor;

d) folosirea echipamentului de protecție la executarea oricăror lucrări.

In afara măsurilor tehnice se iau măsuri individuale de protecție:

- spălarea frecventă a mîinilor ;
- dușul la sfîrșitul lucrului ;
- întărirea rezistenței organismului printr-o alimentație îngrijită (se introduce special laptele).

In toate cazurile trebuie să se țină seama că unul din factorii care favorizează cel mai mult accidentele este alcoolul.

11.2. Măsuri de protecția muncii

11.2.1. Condiții generale

Amplasarea atelierelor de tratamente termice se va face în clădiri fără etaje,rezistente sau semirezistente la foc,avînd cel puțin un perete spre exterior pentru buna ventilație în timpul verii.

In cazul cînd atelierele sînt amplasate în clădiri cu mai multe nivele,trebuie să ocupe etajele de sus.

La amplasarea cuptoarelor:

- distanța între rezervorul de călire și cuptor trebuie să fie de 2 m în cazul în care rezervorul este amplasat în fața cuptorului, iar pentru cele amplasate în spate,distanța e de 1,5 m;
- rezervoarele așezate lateral de cuptor trebuie să se afle la distanța de o,6 m față de acesta;
- la călirea pieselor mari este rațional să se așeze băile în fața cuptorului,astfel încît piesa,după ce a fost scoasă din cuptor să poată fi transportată cu ajutorul macaralei în bazinul de călire;
- distanța între cuptor și pereții atelierului este de 1,5-2 m.

La amplasarea utilajelor:

- reducerea la minim a transporturilor de piese ;
- amplasarea lor se face în încăperi special amenajate pentru ca rezultatele încercărilor să nu fie influențate de praful,vaporii și gazele degajate ;
- la utilajele la care pot rezulta degajări de substanțe chimice se vor lua măsurile prevăzute .

Caracteristic pentru atelierele de tratamente termice este

faptul că pe lîngă căldura şi fumul provenite de la cuptoare se produc gaze toxice de la băile de cianurare,băile de călire în săruri topite sau de la băile de plumb.Din această cauză hala de tratamente termice trebuie să fie prevăzută cu ventilaţie artificială.

Inălţimea de lucru la utilaje va fi de minimum o,75 m.Numai în cazuri justificate tehnologic se admit înălţimi mai mici.

Pardoselile,gropile utilajelor şi canalele instalaţiilor vor fi prevăzute cu scurgeri la canalizare.

Se interzice scurgerea apelor industriale uzate,care,în urma reacţiilor chimice pot da naştere la gaze toxice,înainte ca acestea să fie neutralizate.

Pentru evitarea incendiilor în instalaţiile care lucrează cu produse inflamabile inodore,controlul concentraţiei gazului în aer se face cu aparatură specială.Trebuie să existe utilaje şi materiale necesare stingerii incendiilor,corespunzătoare substanţelor care se utilizează.(reţea de alimentare cu apă,stingătoare cu spumă,cu bioxid de carbon)

Pardoseala atelierului de tratamente termice trebuie să reziste la temperatura înaltă a pieselor,la acţiunea uleiului,a plumbului topit,a sărurilor din băi,a apei,a cărbunelui.Din aceste cauze,pardoseala se execută din cărămizi de bazalt,plăci ceramice, plăci de fontă.

La călirea superficială a pieselor în cazul încălzirii cu flacără oxiacetilenică se vor folosi ca medii de răcire: apa,soluţiile apoase de săruri şi aerul comprimat.Nu este permisă răcirea în ulei deoarece există pericolul de aprindere.

Pentru formarea şi aprinderea amestecului de oxigen şi acetilenă se folosesc becuri speciale cu mai multe flăcări sau fante,

precum şi instalaţii de călire.Pericolul de explozie şi de incendiu al acestui procedeu este favorizat de folosirea gazelor care sînt explozibile şi inflamabile.

Condiţiile de muncă igienico-sanitare la locul de muncă cu flacără oxiacetilenică se caracterizează prin influenţa flăcării şi vicierea aerului.Aici radiaţiile ultraviolete sînt mai slabe, însă vicierea aerului cu oxid de carbon şi oxid de azot este mai mare decît la arderea arcului electric.

11.2.2. Instalaţii şi utilaje

11.2.2.1.Instalaţii şi utilaje de tratament termic obişnuit

Cuptoarele electrice vor fi prevăzute cu întrerupătoare pentru întreruperea cu curent în momentul deschiderii uşii pentru reducerea influenţei radiaţiei termice.

Părţile metalice ale cuptorului electric vor fi legate la pămînt pentru evitarea electrocutărilor.

Controlul stării utilajelor electrice,a prizelor de pămînt şi izolarea reţelelor trebuie efectuat sistematic,înlăturîndu-se imediat toate deranjamentele.

Deservirea şi supravegherea instalaţiilor şi utilajelor de tratament termic se va face numai de oameni care au fost special instruiţi deoarece la diferite tratamente termice se lucrează cu o serie de substanţe periculoase (săruri topite pentru călire,cianuri,etc.)

Bazinele de răcire vor fi prevăzute cu grătare pentru scoaterea prin manipularea de la sol a pieselor căzute în timpul răcirii.Bazinele de răcire vor fi prevăzute la partea inferioară cu robinet pentru scurgerea apei acumulate la fund şi pentru curăţirea bazinului.

Temperatura maximă a uleiului din bazin în timpul răcirii

va fi sub temperatura de autoaprindere a uleiului,cu aparataj de semnalizare acustică sau optică a atingerii temperaturii maxime de lucru în scopul evitării aprinderii şi a formării unor cantităţi excesive de vapori.

Temperatura uleiului în timpul călirii nu trebuie să depăşească 8o-85°C.In acest sens se iau următoarele măsuri:

- bazinele de călire trebuie prevăzute cu sisteme de răcire a uleiului ;

- volumul bazinului de călire trebuie să depăşească de 4-5 ori volumul pieselor ce se călesc ;

- temperatura de aprindere a uleiului folosit pentru călire - 180-200°C.

Pentru captarea vaporilor formaţi în timpul lucrului,bazinele de răcire cu ulei vor fi prevăzute cu guri sau hote de aspiraţie.

Sărurile utilizate pentru formarea băilor de săruri se păstrează în ambalaje ermetic închise în magazii uscate.

Sărurile nu se vor stinge cu ajutorul stingătoarelor cu spumă sau cu nisip umed pentru că pot provoca explozii şi împroşcarea sării topite. In acest scop trebuie să se folosească nisip uscat.

Pentru prevenirea accidentelor la călirea pieselor cu săruri topite de azotaţi,$BaCl_2$,salpetru,etc.,se iau următoarele măsuri:

- adăugarea sărurilor proaspete în baie se va face numai în cantităţi mici în stare uscată; în caz contrar se produc explozii;

- baia se va umple pînă la 3/4 din capacitatea creuzetului deoarece prin topire sărurile îşi măresc volumul şi se revarsă.

La băile cu azotaţi,nu este permisă încălzirea acestora la o temperatură mai mare de 550°,aceştia descompunîndu-se la 550-600°C.

In cazul supraîncălzirii,azotaţii reacţionează cu materialul

băii producînd explozii.Piesele ce se tratează în băi de săruri precum şi sculele şi dispozitivele ce se folosesc trebuie în mod obligatoriu preîncălzite înainte de cufundare.

Preîncălzirea are loc pînă la 150-200°C.

La băile cu săruri · cianuri se vor respecta normele privind lucrul cu cianuri.

Aprinderea cuptoarelor se va face numai de persoane instruite şi se va avea în vedere următoarele:

1.- înainte de aprindere se va ventila camera de ardere pentru evacuarea gazelor acumulate;

2.- dacă cuptorul este rece se va face o preîncăzire lentă;

3.- în cazul în care aprinderea nu se produce imediat,se închide admisia combustibilului şi se aeriseşte din nou cuptorul după care operaţia se repetă.

In timpul încărcării şi descărcării cuptorului,staţionarea persoanelor în faţa cuptorului este interzisă.

11.2.2.2. Instalaţii cu atmosferă controlată

Se vor lua măsuri pentru montarea corectă,întreţinerea şi buna funcţionare a aparatelor de măsură şi control pentru prevenirea accidentelor de muncă. In timpul lucrărilor de reparaţii se vor lua măsuri pentru evitarea pătrunderii gazelor în interiorul cuptorului.In acest scop se va demonta complet un tronson al conductei de gaz prevăzut special.

Cuptorul la care se execută reparaţia se izolează.Atît timp cît durează reparaţia se va insufla aer curat pentru a se realiza condiţii bune de lucru.

Se vor lua măsuri pentru a evita pătrunderea atmosferei protectoare care poate forma amestecuri explozive cu aerul în cuptor înainte ca acesta să atingă 760°C.

Numai după ce se atinge această temperatură se va comanda pătrunderea atmosferei protectoare în interiorul cuptorului.In caz contrar se produc explozii cu urmări grave.

11.2.2.3. Instalaţii de încălzire prin curenţi de înaltă frecvenţă (CIF)

Toate instalaţiile CIF care nu se găsesc în încăperi separate,vor fi prevăzute cu îngrădiri speciale şi indicatoare de avertizare.

Apa de răcire a elementelor care se găsesc sub tensiune (inductoarele de încălzire,transformatoarele de coborîre,lămpile generatoare) va fi adusă la acele elemente prin furtune de materiale plastice.Aceste furtune vor fi prevăzute la capete cu inele cu racorduri metalice legate la pămînt pentru a asigura protecţia electrică în cazul ruperii furtunului. Instalaţia CIF va fi menţinută în perfectă stare de curăţenie.Curăţirea de praf se face cel puţin o dată pe lună şi cu scoaterea din funcţiune a instalaţiei.

Controalele periodice şi reparaţiile de orice fel se vor face după grafic cu respectarea strictă a regulilor prescrise.

A N E X E

Proprietățile fizice ale metalelor și metaloizilor. ANEXA 1.

Elementul	Greutate atomică	Raza atomică Å	Rețea cristalină	Parametrii rețelei Å a	b	c sau unghiul romboedrului
Aluminiu	26,97	1,43o	c.f.c.	4,o489	-	-
Arsen	74,94	1,25	romboedrică	4,159	-	53°49'
Argint	1o7,88	1,443	c.f.c.	4,o856	-	-
Aur	197,2	1,4419	c.f.c.	4,o873	-	-
Bariu	137,36	2,174	c.v.c.	5,o25	-	-
Beriliu	9,o2	1,1127	h.c.	2,2856	-	3,5843
Bismut	2o9,oo	1,555	romboedrică	4,7456	-	57°14,3'
Bor	1o,82	o,99o	ortohexagon	17,64	25,o	1o,26
Cadmiu	112,41	1,489	h.c.	2,978	-	5,617
calciu	4o,o8	1,9689	c.f.c.	5,75	-	-
Carbon	12,o1o	o,77	ortohexagon	4,255	2,46	6,79
			cub.	3,6o6	-	-
Cobalt	58,94	1,252	h.c.	2,5o7	-	4,o69
Crom	52,o1	1,248	c.v.c.	2,8845	-	-
Cupru	63,54	1,277	c.f.c.	3,6152	-	-
Fier	55,85	1,24o	c.v.c.	2,8664	-	-
Fosfor	3o,98	-	rombică	3,31	4,38	1o,5o
Galiu	69,72	1,22o	ortoromb.f.c.	4,526	4,52o	7,66o
Iridiu	193,1	1,356	c.f.c.	3,8389	-	-
Litiu	6,94o	1,519o	c.v.c.	3,5o89	-	-
Magneziu	24,32	1,5982	h.c.	3,2o92	-	5,21o3
Mangan	54,93	1,598	cub.complexă			
			tetragonală	8,911	-	-
Mercur	2oo,81	1,5o2	romboedrică	3,oo5	-	7o°31,7' la -46°C
Molibden	95,95	1,362	c.v.c.	3,146	-	-
Nichel	58,96	1,245	c.f.c.	3,5238	-	-
Osmiu	19o,2	1,337	h.c.	2,7353	-	4,3191
Paladiu	1o6,7	1,3747	c.f.c.	3,89o2	-	-
Platină	195,23	1,386	c.f.c.	3,9237	-	-
Plumb	2o7,21	1,749	c.f.c.	4,9494	-	-
Potasiu	39,o96	2,3136	c.v.c.	5,3437	-	-
Radiu	226,o5	2,38o	-	-	-	-
Reniu	186,31	1,369	h.c.	2,76o8	-	4,4582
Rodiu	1o2,91	1,369	c.f.c.	3,8o33	-	-
Sodiu	22,997	1,8577	c.v.c.	4,29o6	-	-
Siliciu	28,o6	1,175	cubică	5,4282	-	-
Staniu	118,7o	1,511	tetr.vol.c.	5,8311	-	4,738

Proprietățile fizice ale metalelor și metaloizilor. ANEXA 1.

Elementul	Greutate atomică	Raza atomică Å	Rețea cristalină	Parametrii rețelei Å a	b	c sau unghiul romboedrului
Aluminiu	26,97	1,43o	c.f.c.	4,o489	-	-
Arsen	74,94	1,25	romboedrică	4,159	-	53°49'
Argint	1o7,88	1,443	c.f.c.	4,o856	-	-
Aur	197,2	1,4419	c.f.c.	4,o873	-	-
Bariu	137,36	2,174	c.v.c.	5,o25	-	-
Beriliu	9,o2	1,1127	h.c.	2,2856	-	3,5843
Bismut	2o9,oo	1,555	romboedrică	4,7456	-	57°14,3'
Bor	1o,82	o,99o	ortohexagon	17,64	25,o	1o,26
Cadmiu	112,41	1,489	h.c.	2,978	-	5,617
Calciu	4o,o8	1,9689	c.f.c.	5,75	-	-
Carbon	12,olo	o,77	ortohexagon	4,255	2,46	6,79
			cub.	3,6o6	-	-
Cobalt	58,94	1,252	h.c.	2,5o7	-	4,o69
Crom	52,o1	1,248	c.v.c.	2,8845	-	-
Cupru	63,54	1,277	c.f.c.	3,6152	-	-
Fier	55,85	1,24o	c.v.c.	2,8664	-	-
Fosfor	3o,98	-	rombică	3,31	4,38	1o,5o
Galiu	69,72	1,22o	ortoromb.f.c.	4,526	4,52o	7,66o
Iridiu	193,1	1,356	c.f.c.	3,8389	-	-
Litiu	6,94o	1,519o	c.v.c.	3,5o89	-	-
Magneziu	24,32	1,5982	h.c.	3,2o92	-	5,21o3
Mangan	54,93	1,598	cub.complexă			
			tetragonală	8,911	-	-
Mercur	2oo,81	1,5o2	romboedrică	3,oo5	-	7o°31,7' la -46°C
Molibden	95,95	1,362	c.v.c.	3,146	-	-
Nichel	58,96	1,245	c.f.c.	3,5238	-	-
Osmiu	19o,2	1,337	h.c.	2,7353	-	4,3191
Paladiu	1o6,7	1,3747	c.f.c.	3,89o2	-	-
Platină	195,23	1,386	c.f.c.	3,9237	-	-
Plumb	2o7,21	1,749	c.f.c.	4,9494	-	-
Potasiu	39,o96	2,3136	c.v.c.	5,3437	-	-
Radiu	226,o5	2,38o	-	-	-	-
Reniu	186,31	1,369	h.c.	2,76o8	-	4,4582
Rodiu	1o2,91	1,369	c.f.c.	3,8o33	-	-
Sodiu	22,997	1,8577	c.v.c.	4,29o6	-	-
Siliciu	28,o6	1,175	cubică	5,4282	-	-
Staniu	118,7o	1,511	tetr.vol.c.	5,8311	-	4,738

ANEXA 1.
(Continuare)

Elementul	Greutate atomică	Raza atomică Å	Rețea cristalină	Parametrii rețelei Å a	b	c sau unghiul romboedrului
Stibiu	121,76	1,461	romboedrică	4,5064	-	57°6,5'
Stronțiu	87,63	2,154	c.f.c.	6,087	-	-
Sulf	32,06	1,425	rombică	10,48	12,92	24,55
Tantal	180,88	1,429	c.v.c.	3,3025	-	-
Titan	47,90	1,457	h.c.	2,958	-	4,738
Uraniu	238,07	1,38	ortorombică	2,8577	5,876	4,954
Vanadiu	50,95	1,3161	c.v.c.	3,039	-	-
Wolfram	183,92	1,369	c.v.c.	3,1648	-	-
Zinc	65,38	1,331	h.c.	2,664	-	4,944
Zirconiu	91,22	1,583	h.c.	3.229	-	5,133

ANEXA 2

PROPRIETATILE TERMOFIZICE ALE ALIAJELOR

MARCA (grupa)	ρ, kg/m³	β 10⁶ grad⁻¹				λ, Kcal/m.h.grad				C, kcal/kg grad			
		20-200 °C	20-400 °C	20-600 °C	20-800 °C	200 °C	400 °C	600 °C	800 °C	200 °C	400 °C	600 °C	800 °C
OLC 10	7,870	13,0	13,9	14,7	-	45,8	39,2	31,7	24,5	0,124	0,142	0,180	0,207
OLC 15	7,860	12,5	13,6	14,2	14,9	-	-	-	-	0,126	0,142	0,180	0,20[illegible]
OLC 20	7,860	12,6	13,6	14,4	12,6	39,9	36,7	30,6	24,3	0,124	0,143	0,179	0,227
OLC 25	7,860	12,3	13,3	14,3	14,6	42,1	36,7	29,0	22,3	0,124	0,143	0,179	0,227
OLC 35	7,850	11,9	13,4	14,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OLC 42	7,845	12,6	14,6	14,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OLC 45	7,845	12,1	13,6	14,6	14,8	41,4	36,0	29,2	21,2	0,123	0,140	0,169	0,149
OLC 50	7,840	12,4	13,3	14,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OLC 60	7,820	11,9	13,5	14,6	14,7	36,0	34,0	32,0	25,0	-	0,156	0,231	0,168
OSC 7	7,810	12,5	13,0	13,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OSC 8	7,810	11,7	13,1	14,2	13,6	38,9	32,8	28,1	20,9	-	-	-	-
OSC 11	7,800	11,2	12,9	14,2	14,4	36,7	35,2	24,1	20,5	0,129	0,143	0,147	0,155
OSC 13	7,800	-	-	-	-	-	-	-	-	0,127	-	-	0,175
15Cr08	7,830	11,6	13,2	14,2	-	34,7	29,7	-	-	-	-	-	-
40Cr10	7,820	13,3	14,8	14,8	-	36,0	33,6	28,1	24,3	-	-	-	-
65Mn10	7,810	11,9	12,9	13,5	-	-	-	-	-	0,116	0,126	0,137	-
35Mn Si 12	7,800	12,6	14,1	14,6	-	36,7	36,0						
33MoCr 11	7,830	12,5	13,6	14,4	-	36,7	34,9	32,0	26,6	0,123	0,143	0,143	0,211
41MoCr 11	7,820	12,8	15,6	14,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50VCr11	7,800	12,8	13,9	14,5	-	34,0	-	-	-	-	-	-	-
13CrNi30	7,880	13,0	14,7	15,6	-	-	22,0	-	18,0	-	0,134	-	-
38MoCr Al 09	7,710	13,4	13,5	14,2	-	36,4	-		-	-	-	-	-
12Cr130	7,7[illegible]	10,45	11,40	12,25	12,5	25,8	25,8	22,7	21,8	0,115	0,145	0,186	0,165
40Cr130	7,750	10,0	11,0	12,0	-	30,2	-	-	20,8	-	-	-	-
10TiNi Cr 180	7,920	15,5	17,6	18,4	19,0	14,8	16,9	19,8	22,5	0,127	0,138	0,135	0,155
T120 Mn 135	7,850	19,4	21,7	19,9	21,9	14,0	15,6	16,7	20,2	0,133	0,127	0,1[illegible]	0,[illegible]
RUL 1	7,800	14,5	14,9	14,9	-	31,5	-	-	-	0,120	-	0,150	-
200Cr120	-	-	-	-	-	26,8	-	21,6	-	0,118	-	0,184	-
RP 3	8,700	11,70	12,2	12,6	12,9	23,4	24,5	25,4	22,3	0,104	0,120	0,145	0,171
90VCrW85	-	-	-	-	-	19,8	-	-	21,2	0,129	-	0,164	-
45VSiCrW20	-	-	-	-	-	20,2	-	25,4	-	0,121	-	0,1[illegible]	-
FONTA CeN	7,000	11,0	-	-	-	38,0	36,0	34,0	-	0,125	-	-	-
F.m.n.	7,300	11,0	-	-	-	55,0	-	-	-	0,125	-	-	-
F.gn. (Fe+Pe)	7,200	12,0	-	-	-	25,0	-	-	-	0,150	-	-	-
Al+Mg	2.690	23,5	-	-	-	120,0	-	-	-	0,23	-	-	-
Al-Mg-Si	2.700	23,0	-	-	-	165,0	-	-	-	0,23	-	-	-
Duraluminiu	2.800	22,5	-	-	-	167,0	225	300	-	0,23	-	-	-
Siluminiu	2.680	19,5	-	-	-	129,0	-	-	-	0,23	-	-	-
Al-Zn-Mg	2.910	23,5				126,0				0,23			
Alama	8,450	20,5	-	-	-	108,0	149	166	-	0,09	-	-	-
Cu-Be	8.250	17,0	-	-	-	90,0	-	-	-	0,10	-	--	-
Cu-Cr	8.900	17,0	-	-	-	145,0	-	-	-	0,10	-	-	-

Pt. alte materiale: Densitatea: $\rho = (7{,}871 - 0{,}032T - 0{,}025C)10^3$ [kg/m³] T = temp. [°C], C = % carbon
Coef. de dilat. liniară: $\beta 10^6 = 11{,}5 + 0{,}92 \cdot 10^{-2} T - 1{,}925C + 0{,}4C^2$
Cond. termică: la ot. aliate: $\lambda_0 = 66 - 22{,}4\Sigma + 8\Sigma^2$ [kcal/mh²], Σ suma elem. de aliere, $\Sigma \leq 2{,}5$; $\lambda_{200°C} = 0{,}95\lambda_0$; $\lambda_{400°C} = 0{,}85\lambda_0$; $\lambda_{600°C} = 0{,}76\lambda_0$; $\lambda_{800°C} = 0{,}70\lambda_0$; $\lambda_{1000} = 0{,}65\lambda_0$
Căld. specifică: $C = a + bT \cdot 10^{-4}$ [kcal/kg·grad]; oțeluri a = 0,112, b = 0,8; aliaje Al a = 0,23, b = 1, aliaje Cu a = 0,09, b = 0,21

ANEXA 3.

Transformările alotropice ale metalelor

Metale	Stări	Structură	Temp °C	Parametrii reticulari Å a	b	c	c/a	Nr. de coord.	Dist. interatomice (Å)	Densitate g/cm³
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1o
Bariu	BaI	c.v.c.	25	5,o13	-	-	-	8	4,341	3,58
	BaII	hex.	2o	3,9o1	-	6,155	1,58	6	3,813	
Beriliu	α Be	hex.	2o	2,285	-	3,583	1,568	6	2,225	-
	β Be	c.v.c.	1255	2,551	-	-	-	8	2,2o9	-
Bismut	Bi I	romboedrică	25	4,736	-	-	α=57°14'	3	3,o71	
	Bi II	hex.	25	4,546	-	11,862	2,6o9			
Calciu	α Ca	c.f.c.	26	5,5884	-	-	-	12	3,9516	
	β Ca	hex.								
	γ Ca	c.v.c.	467	4,48o	-	-	-	8	3,88o	
Ceriu	α Ce	c.f.c.	77°K	4,85	-	-	-	12	3,43	
	α Ce II	c.f.c.	25°C	4,82	-	-	-	12	3,43	
	β Ce	hex.	25	3,673	-	11,8o2	3,214	6	3,633	6,749
	γ Ce	c.f.c.	757	5,16o1	-	-	-	12	3,6487	6,773
Cobalt	α Co	hex.	2o	2,5o7	-	4,o7o	1,623	6	2,497	
	β Co	c.f.c.	42o	3,544	-		-	12	2,5o6	
Fier	α Fe	c.v.c.	2o	2,8664	-	-	-	8	2,4823	
	γ Fe	c.f.c.	91o	3,6468	-	-	-	12	2,5786	
	δ Fe	c.v.c.	14o1	2,9322	-	-	-	8	2,5393	
	ε Fe II	hex.	25	2,465	-	4,o5o	1,643	6		
Hafniu	α Hf	hex.	24	3,1946	-	5,o511	1,5811	6	3,1273	13,28
	β Hf	c.v.c.	169o	3,61	-	-	-	8		
Lantan	α La	hex. dublu	2o	3,77o	-	12,159	3,2252	6	3,739	6,18
	β La	c.f.c.	3oo	5,296	-	-	-	12	3,745	6,155
	γ La	c.v.c.	87o	4,26	-	-	-	8	-	5,98
	La II	c.f.c.	2o	5,17	-	-	-	12		
Litiu	α Li	c.v.c.	25	3,51	-	-	-	8	3,o397	0,533
	β Li	hex.	78°K	3,111	-	5,o93	1,637	6	3,111	
	γ Li	c.f.c.	2o°K	4,41	-	-		12		
Mangan	α Mn	c.complex	2o	8,9131	-	-		58	atomi celulă	
	β Mn	c.complex	T.I.	6,3145	-	-		2o	atomi celulă	
	γ Mn	c.f.c.	1o95	3,8624	-	-		12	2,7311	
	δ Mn	c.v.c.	1134	3,o8o6	-	-		8	3,7158	
Natriu	α Na	c.v.c.	2o	4,29o6	-	-	-	8	3,7158	o,966
	β Na	hex.	5o°K	3,767	-	6,154	1,634	6	3,767	

ANEXA 3.
(continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1o
Neptuniu	αNp	orto-romb.	2o	6,633	4,723	4,887	-	1	2,6o	2o,45
	βNp	tetragonal	313	4,897	-	3,388	o,6919	4	2,76	19,36
	γNp	c.v.c.	6oo	3,52	-	-	-	8	3,o5	18,oo
Poloniu	αPo	cubic simplu	1o	3,345	-	-	-	6	3,345	9,32
	βPo	rombo-edric	75	3,359	-	-	α=98°13'			9,51
Plutoniu	αPu	mono-clinic	21	6,183	4,82	1o,963	α=1o1°97'	4	2,78	19,86
	βPu	mono-clinic	19o	9,284	1o,463	7,859	β=92,13°	-	2,79	17,7o
	γPu	orto-rombic	235	3,1587	5,768	1o,162	-	4	3,2o6	17,13
	δPu	c.f.c.	32o	4,637o	-	-	-	12	3,2788	15,9
	δ'Pu	tetragonal f.c.	47o	3,33	-	4,46				15,99
	εPu	c.v.c.	5oo	3,628	-	-	-	8	3,151	16,48
Antimoniu	Sb	rombo-edric	25	4,5o67	-		α=57°6'27"	3		6,688
		hex.	25	4,3o84	-	11,247	-	3	2,9o6	
	SbII	cubic simplu	2o	2,986	-	-	-	6	2,986	7,66
	SbIII	hex.	2o	3,369	-	5,33	1,58	6	3,299	7,7
Staniu	αSn	cubic diam.	2o	6,4892	-	-	-	4	2,8o99	5,765
	SnII	tetragonal	314	3,81	-	3,48				
	βSn	tetragonal	25	5,8315	-	3,1814	o,545	6	3,o22	7,28
	SnIII	c.v.c.	2o							
Stronţiu	αSr	c.f.c.	25	6,o849	-	-	-	12	4,3o27	2,58
	βSr	hex.	248	4,32	-	7,o6	1,635	6	4,32	
	γSr	c.v.c.	614	4,85	-	-	-	8	4,19	
	SrII	c.v.c.	2o	4,434	-	-	-	8	3,84	
Titan	αTi	hex.	25	2,9511	-	4,6843	1,587	6	2,8963	
	βTi	c.v.c.	9oo	3,3o65	-	-	-	8	2,28[illegible]	
	TiII	h.c.	2o	4,625	-	2,813	o,6o8			4,581
Taliu	αTl	hex.	18	3,4566	-	5,5248	1,598	6	3,4o76	
	βTl	c.v.c.	262	3,882	-	-	-	8	3,362	
Uraniu	αU	orto-rombic	A 2o 25	2,8537	5,8695	4,9548		2	2,7539	
	βU	tetragonal	72o	1o,759	-	5,636	o,5257	complex		18,11
	γU	c.v.c.	8o5	3,524	-	-	-	8	3,o52	18,o6
Zirconiu	αZr	hex.	25	3,2312	-	5,1477	1,5931	6	3,1789	6,565
	βZr	c.v.c.	867	3,6o9o	-	-	-	8	3,1255	
	ZrII	h.c.	P.M.	5,o36	-	3,1o9	o,617			6,657

ANEXA 4.

Module de elasticitate longitudinale şi transversale pentru metale şi aliaje metalice tehnice

Metalul	E_{max} 111	E_{min} 100	G_{max} 100	G_{min} 111
Ag	12000	4400	4600	1970
Al	7600	5800	2850	2300
Au	12000	4400	4360	1930
Cu	20800	6700	7600	2950
Ni	25980	11980	10220	5330
Pb	3900	1080	1450	490
Fe	31000	13200	11600	6000
W	41000	41000	15000	15000
72%Cu+ 28%Zn	18200	5200	7200	4600
Alamă	20000	2700	8200	1300
Cu_3Au	17200	7500	6600	3700
Zn	12630	3560	4970	2780
Cd	8300	2880	2510	1840
Mg	4890	4180	1760	1635

ANEXA 5.

Temperaturi de recristalizare a unor metale pure

Metalul	T_{top} [K]	T_{recr} [K]	α din $T_{recr} = \alpha T_t$
Au	1336	473	0,35
Ag	1234	473	0,38
Cu	1357	488	0,36
Fe	1803	673	0,37
Ni	1724	870	0,51
W	3673	1473	0,43
Mo	1173	2773	0,42
Al	932	740	0,50
Zn	692	314	0,45
Sn	505	280	0,56
Cd	594	280	0,49
Pb	600	270	0,45
Pt	2037	723	0,35
Mg	923	423	0,43

Gradul de opacitate pentru diferite metale ANEXA 6.

Materialul şi starea suprafeţei	T °C	
0	1	2
Aluminiu lucios	225 - 575	o,2o - o,3o
Aluminiu rugos	2o	o,27
Aluminiu oxidat	23o - 6oo	o,11 - o,19
Aluminiu turnat	1oo - 5oo	o,3
Aluminiu în cochilă	1oo - 5oo	o,2
Alamă (laminată, turnată)	2o - 6oo	o,7
	6oo - 8oo	o,8 - o,9
Alamă oxidată	1oo - 3oo	o,7 - o,8
	3oo - 8oo	o,8 - o,9
Alamă prelucrată	1oo - 5oo	o,15 - o,3o
	5oo - 8oo	o,2o - o,6o
Alamă lustruită	1oo - 5oo	o,1 - o,2
	5oo - 8oo	o,2 - o,5
Azbest	2o - 5oo	o,93 - o,96
Cărămidă din şamotă şi sticlă noi	6oo -1ooo	o,75 - o,86
Cărămidă şi sticlă folosite	6oo - 1ooo	o,82 - o,87
Cărbune	125 - 625	o,8o
Cupru lustruit (lucios)	8o - 115	o,o2- o,1o
Cupru prelucrat	1oo - 5oo	o,4 - o,5
	5oo - 8oo	o,5 - o,7
Cupru oxidat	2oo - 6oo	o,57 - o,87
Funingine	2o - 37o	o,95
Fier lucios	425 -1o2o	o,14 - o,38
Fier oxidat	25 -11oo	o,78 - o,9o
Fontă oxidată	6oo	o,78
Fontă prelucrată	3oo	o,21
Oţel lucios şi curat	25 - 25o	o,o4 - o,o7
Oţel turnat	9oo	o,85
Oţel oxidat	2oo - 6oo	o,8o
Oţel zincat lucios	2o	o,23
Oţel nichelat	2o	o,11
Oţel moale	25 -1ooo	o,15 - o,35
Oţel inoxidabil	25 -11oo	o,25 - o,6
Tablă din oţel lucioasă	94o -11oo	o,55 - o,61

* - Materialele "oxidate" sînt acelea care au mai suportat o încălzire anterioară.

ANEXA 7.

Punctele critice şi compoziţia chimică a oţelurilor

Oţelul	A_{c1}	A_{c3}	A_{r1}	Oţelul	A_{c1}	A_{c3}	A_{r1}
OLC 10	732	860		21MoMnCr12	735	820	680
OLC 15	735	850		13CrNi30	715	820	660
OLC 20	735	840		15CN08	715	810	680
OLC 25	735	830		41CrNi12	715	780	680
OLC 35	735	810	690				
OLC 42	730	800					
OLC 45	725	780					
OLC 50	725	775					
OLC 55	725	770					
OLC 60	725	775					
15Cr08	735	850	700	18MoCrNi13	720	800	660
40Cr10	740	800		34MoCrNi15	710	800	650
40BCr10	740	780	670	30MoCrNi20	700	770	640
35Mn16	720	790	680	38MoCrAl09	780	900	740
65Mn10	721	745	670				
18MnCr10	765	840	690				
35MnSi12	750	720	690	51VCr11A	740	770	700
50VCr11	750	790	700	60Si15A	740	770	700
				56Si17A	760	800	690
21TiMnCr12	730	850	690	51Si17A	760	790	690
28TiMnCr12	740	840	690	OLC65A	725	750	690
				OLC55A	725	770	690
				OLC85A	725	-	690
				OLC75A	725	740	690
30MoCr10	740	820					
33MoCr11	740	820	700				
41MoCr11	735	800					
OSC7	730	770	690	97MnCrW14	750	940	710
OSC8	730	-	690	15oVMoCr12o	810	-	770
OSC10	730	800	700	2ooCr12o	800	-	760
OSC11	730	810	700	3oVCrW85	850	-	790
				55MoCrNi15	730	780	680
OSC13	730	830	700	45VSiCrW2o	770	840	735
117VCro6	740	-	700	Rp3	820	-	760

ANEXA 8.

Coeficienţi de difuzie şi energii de activare
a unor elemente în fier

Metal difuzat	Concentraţie [% atomice]	Temperatura [°C]	D [cm^2/s]	D_0 [cm^2/s]	E [kcal/mol]
0	1	2	3	4	5
Autodifuzie:		720 - 900	-	$2,3 \times 10^{3}$	73,2
Fe_{α}	-	810 - 910	-	5,8	59,7
		650 - 850	-	$5,3 \times 10^{2}$	67,1
		-		18,0	64,1
Fe_{γ}	-	910 - 1357	-	5,8	74,2
	-	960 - 1250	-	0,7	68,0
	-		-	0,58	67,9
			-		64,0
Al	-	950 - 1100	-	30,0	56,0
Co	în (α- Fe)	-	-	$2,6 \times 10^{-6}$	27,4
	în (γ- Fe)			$1,1 \times 10^{-4}$	41,8
Cr	Cr pur	1150	$6,8 \times 10^{-10}$	-	-
		1300	$2,2 - 5,5 \times 10^{-8}$	-	
	Fe - Cr pulbere	1200	$2 - 8 \times 10^{-9}$	-	-
Cu	Cu pur	800 - 1200	-	3,0	61,0
Li	Li pur	700	pătrunde 2 mm în 4 h		
Mn	0,27	960	3×10^{-10}	-	-
	3	1400	$9,6 \times 10^{-8}$		
Mo	0 - 3,1	1200	$2,3 - 3 \times 10^{-9}$	-	-
	0 - 3,5			3,47	5,77
Ni	c 22	1200	9×10^{-11}	-	-
S	-	220	$2,1 - 0,8 \times 10^{-13}$	-	-
Sn	Sn pur	950	$9,7 \times 10^{-10}$	-	46
		1000	$2,0 \times 10^{-9}$		
		1050	$3,9 \times 10^{-9}$		
		1100	$7,6 \times 10^{-9}$		

ANEXA 9.

Coeficienții de transmitere a căldurii în săruri topite $\alpha_{global} = \alpha_0 + K(T_{ut} - T_{top})$

Tipul sării și compoziția		Temperatura de topire T_{top} [^oC]	Coeficient de transmisie $\alpha_0 \left[\frac{W}{m^2K}\right]$	Coeficient de multiplicare: K	Interval de utiliz. [^oC] T_{ut}
$NaNO_2$		284	230 = 200[Kcal/m^2.h.^{o}C)]	1,5	350-600
$NaNO_3$		317			350-600
Amestecuri de azotați și azotiți		140 - 220			200-550
	SR 140	140			160-500
	SR 220	220			300-550
Cloruri simple	NaCl	808	230 = [200 Kcal/m^2.h.^{o}C]	0,75	850-1100
	KCl	725		1,5	750-1050
Amestecuri de cloruri		500 - 700		2	550-900
	SC 430	430			480-750
	SC 630	630			700-950
	SC 960	960	290 = 250[Kcal/m^2·h^{o}C]	2,5	1050-1300
Sare neutră (carboneutral)		920			1000-1300

ANEXA 10.

Valorile raportului: $\dfrac{\left(\frac{T_c}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_s}{100}\right)^4}{T_c - T_s}$

Temperatura cuptorului : ^oC	Temperatura suprafeței corpului T_s, ^oC							
	0	200	400	600	700	800	900	1000
600	9,59	13,27	18,70	21,61	-	-	-	-
700	12,72	16,92	23,04	31,55	36,84	-	-	-
800	16,50	21,26	28,01	37,29	42,93	49,50	÷	-
900	20,97	26,33	33,76	43,75	49,85	56,80	64,60	-
1000	27,21	32,20	40,35	51,10	57,60	65,0	73,3	82,6
1100	32,25	38,92	47,85	59,40	66,40	74,2	83,0	92,4
1200	39,18	46,58	56,30	68,80	76,30	84,6	93,9	104,1

ANEXA 11.

Durata de transformare pentru unele oţeluri

Oţelul	Temperatura de încăl-zire [°C]	Timpul de trans-formare [min.]	Oţelul	Temperatura de încălzire [°C]	Timpul de transformare [min.]
0	1	2	0	1	2
OLC 45 ,OLC 60	820-85o	1,o	C 120	1o7o	3,1
OSC 7 , OSC 8	82o	1,o	Rp 3	125o	2,3
OSC 10 , OSC 11	8oo	1,o	Rp 3	129o	1,3
4o Cr lo	85o	1,5	Rp 5	122o	o,7

ANEXA 12.

Durata încălzirii şi menţinerii pieselor din oţeluri carbon în funcţie de grosime

Grosi-mea mm	Călire				Revenire			
	Cuptor cu flacără		Băi de săruri		Cuptor cu flacără		Băi de săruri	
	Încăl-zire	Menţi-nere	Încăl-zire	Menţi-nere	Încăl-zire	Menţi-nere	Încăl-zire	Menţi-nere
25	2o	5	7	3	25	lo	lo	5
5o	4o	lo	17	8	5o	15	25	6
75	6o	15	24	12	75	2o	35	9
loo	8o	2o	33	17	loo	25	45	12
125	loo	25	4o	2o	125	3o	55	14
15o	12o	3o	5o	25	15o	4o	65	15
175	14o	35	55	3o	175	45	7o	2o
2oo	16o	4o	65	35	2oo	5o	9o	2o

Anexa 13.

Valorile prunctului de rouă (t_{H_2O} în °C) în funcție de conținutul de vapori de apă în atmosferele controlate.

t_{H_2O}	(% H_2O)	t_{H_2O}	(% H_2O)	t_{H_2O}	(% H_2O)	t_{H_2O}	(% H_2O)
+24	2,94	+7	0,99	-6	0,38	-25	0,06
+20	2,30	+5	0,86	-8	0,33	-30	0,035
+18	2,04	+2	0,70	-10	0,28	-40	0,012
+15	1,68	-0	0,60	-12	0,24	-50	0,004
+12	1,38	-2	0,51	-15	0,19	-60	0,001
+10	1,21	-4	0,45	-20	0,11	-70	0,00025

Compoziția, caracteristicile de bază și utilizarea atmosferelor gazoase

Tipul atmosferei	Modul de obținere			Compoziția		
	Produsul inițial	Produsul de bază	Purificarea suplimentară	CO	CO_2	H_2
H_2-H_2O	Hidrogen tehnic	Electroliză	-	-	-	99,5
			Purificare pe catalizator (Pd)	-	-	100
H_2-H_2O-N_2	Amoniac lichid	Disociere	Uscare	-	-	75
		Disociere și ardere parțială (α=0,6-0,8)	Uscare	-	-	5-25
		Ardere parțială directă	Uscare	-	-	1-5
CO-CO_2-N_2	Cărbune de lemn	Trecerea aerului prin cărbune încins.	Uscare	29-30	1-2	6
			Încălzire retortă la 900-1000°C și uscare	33-34	0,2-0,7	3-6
CO-CO_2-H_2-H_2O-N_2	Hidrocarburi gazoase	Ardere parțială (α==0,6-0,7)	Răcire cu apă la +20°	10-15	5-6	15-20
			Răcire în refrigerator la +4°	10-15	5-6	15-20
			Purificare de CO_2 și uscare	10-15	0,1-0,2	15-20
			Purificare de CO_2 și H_2O pe site moleculare.	10-15	-	15-20
			Purificare de CO_2 și H_2O pe cărbune încins.	20	-	15
		Ardere aproape completă (α = 0,9-0,95)	Răcire la +20°	1,5-2	10-12	2-3
			Purificare de CO_2 și uscare	1,5-2	0,1-0,2	2-3
			Purificare pe site moleculare	1,5-2	-	2-[illegible]
			Purificare prin cărbune încins.	20	0,1-0,2	3-4

de protecție în tehnologia tratamentelor termice

atmosferei,%				Utilizări specifice la încălziri protectoare
H_2O	Punct rouă	CH_4	N_2	
0,5	0_2	–	–	Recoacerea și normalizarea oțelurilor moi nealiate. Recoacerea oțelurilor inoxidabile înalt aliate. Recoacerea oțelurilor silicioase. Obținerea și sinterizarea pulberilor metalice. Intotdeauna se va urmări uscarea pînă la rapoarte PH_2O/PH_2 (puncte de rouă) mai mici decît cele de echilibru cu oțelul protejat.
o,ol-o,oo2	-40 -6o	–	–	
o,ol-o,oo2	-4o -6o	o,o5 NH_3	25	
o,ol-o,oo2	-20 -60	-	75-95	
o,ol-o,oo2	-20 -6o	-	95 - 99	
o,25-o,o6	-1o -25	o,5-1o	65-7o	Recoacerea, normalizarea, călirea și revenirea oț. carbon și slab aliate cu conținut mediu și mare de C. Călirea oțelurilor rapide. Recoacerea de maleabilizare a fontelor albe.
o,o6	-25	o,5-1,o	6o-65	
2,3-3,3	+20 +25	0,5	60-70	Recoacerea, normalizarea, călirea și revenirea oț. carbon, slab aliate și rapide. Recoacerile oțelurilor silicioase Recoacerea de maleabilizare a fontelor albe. Nitrurarea oțelurilor și fontelor.
o,8-1,o	+4 +6	0,5	60-70	
o,ol - o,oo4	-40 -50	0,5	65-70	
o,oo2 - o,ool	-60 -70	0,5	65-70	
o,25-o,o6	-10 -20	0,5	65	
2,3-2,5	+20 +25	-	84-88	Recoacerea, normalizarea și călirea oțelurilor carbon, slab aliate și rapide. Recoacerea oțelurilor silicioase Recoacerea de maleabilizare a fontelor albe (fonte maleabile perlitice). Recoacerea cuprului, nichelului și unor aliaje ale acestor metale.
o,ol - o,oo4	-40 -50	-	95-97	
o,oo2 - o,ool	-60 -70	-	95-97	
o,25-o,o6	-1o -2o	0,5	74-76	

Recoacerea de detensionare la produsele din oțel

Anexa 15

Prelucrarea anterioară	Condițiile de recoacere de detensionare: Incălzire	Menținere	Răcire	Prelucrări ulterioare
Turnare	Incălzire lentă pînă la 550 - 650°C	1 h/25 mm de grosime maximă a secțiunii dar nu mai puțin de 1 h	Cu cuptorul pînă la 200-300°C, apoi în aer	prelucr. mecanice de degroșare
Sudare	Incălzire lentă pînă la 600-680°C			
Forjare	Incălzire lentă sau rapidă pînă la 650 - 700°C			prelucr. de degroșare
Degroșare prin așchiere	400 ÷ 550°C			prelucr. de prefinisare sau finisare
Finisare prin așchiere	200 ÷ 120°C	2 ÷ 48	Aer	Finisare sau superfinisare
Deformarea plastică la rece cu necesitatea păstrării parțiale a ecruisării (produse semitari sau tari, arcuri resoarte)	350÷400°C	10÷30 min	Aer	
Călire la martensită cu necesitatea păstrării durității ridicate -	150÷200°C	1÷2	Aer	prelucr. de finisare
Revenire cu răcire rapidă pentru evitarea fragilității de revenire înaltă	400÷460°C	1 h/25 mm de grosime	Aer sau cuptor	prelucr. de finisare

Regimul de detensionare al batiurilor
şi pieselor din fontă cenuşie

Anexa 16.

Marca	Tempe-ratura [°C]	$V_{înc}$ [°C/h]	$t_{menţ}$ (după egali-zare [h]	Viteza de răcire maximă [°C/h]
Fc 150 - Fc 200	52o - 55o	Maximum 50°/h	2	50°/h - 2oo°C
Fc 250 - Fc 300	55o - 575	(pînă la	3	40°/h - 25o°C
Fc 350 - Fc 400	575 - 6oo	400°C)	4	30°/h - 3oo°C
Fgn380 - 11 şi Fgn420 - 12	55o - 575	maximum 50°/h	2	30°/h - 3oo°C
Fgn450 - 5 şi Fgn500 - 7	575 - 6oo	(pînă la 5oo°C)	3	apoi în aer
Fgn 600-2,2 şi Fgn700 -2	6oo - 62o		4	

PROPRIETATILE MECANICE ALE OTELURILOR SI FONTELOR ROMANESTI SI RECOMANDARI DE TRATAMENTE TERMICE

Marca	Starea L-laminat R-recopt N-normaliz C-călit R-rev.inalt r-rev.jos	Proprietăţi mecanice					Parametrii tratamentului				
		Rp0,2	Rm	A5	KCU	HB	Recoacere		Călire		Revenire
		daN/mm²	N/mm²	%	J/cm²		T,[°C]	Mediu	T,[°C]	Mediu	T,[°C]
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ao OTELURI DE UZ GENERAL PENTRU CONSTRUCTII SI STRUCTURI SUDATE											
A-I OTELURI DE UZ GENERAL STAS 500-80; 8185-80; 11082-80.											
OL 30	L	–	310	20	–	–	Nu se tratează termic				
OL 34	L	–	330-410	31	–	–					
OL 37	L	230	360-440	25	59	–					
OL 42	L	250	410-490	25	59	–					
OL 44	L	270	430-540	25	59	–					
OL 50	L	330	480-500	26	–	–					
OL 52	L	340	510-630	22	59	–					
OL 60	L	330	590-710	16	–	–					
OL 70	L	360	690	11	–	–					
OLT 35	L	230	340	26	–	230					

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
OLT45	L	250	440	21	-	250	Nu se tratează termic				
OLT65	L	370	640	16	-	370					
X42	L	290	410	21	-	-					
X46	L	320	430	20	-	-					
X52	L	360	450	19	-	-					
A-II OTELURI PENTRU ARMAREA BETONULUI STAS 438-80											
OB37	L	255	360	-	-	-	Nu se tratează termic				
PC60	L	430	590	-	-	-					
A-III OTELURI PENTRU PRECONIZAREA BETONULUI STAS 6482-80											
SBP	L	1320-1790	1570-2400	2	-	-	Nu se tratează termic				
SBPA	L	1370	1850	2	-	-					
A-IV OTELURI CU GRANULATIE FINA STAS 9021-83; 11082-80											
OCS44	N	285	430-540	23	-	-	Nu se tratează termic				
OCS52	N	355	510-610	20	-	-					
OCS55	N	420	540-680	19	-	-					
OCS58	N	460	570-730	17	-	-					
OCS90	N	685	800-930	16	-	-					

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X56	N	390	490	18	-	-	Nu se tratează termic				
X60	N	410	520	17	-	-					
L42	N	410	670	-	-	-					
A-V OTELURI REZISTENTE LA COROZIUNEA ATMOSFERICA STAS 500-80											
RCA37	L	-	370	-	-	-					
RCB52	L	-	520	-	-	-					
A-VI OTELURI PENTRU APARATE SI RECIPIENTE SUB PRESIUNE LA TEMPERATURI OBISNUITE SI INALTE STAS 2883-80 ; 8184-80 ; 11523-80											
K41	N	245	400-490	22	-	-	890-920	aer	-	-	-
K47	N	275	460-550	20	-	-	890-920	aer	-	-	-
K52	N	315	510-650	19	-	-	880-920	aer	-	-	-
OLT35K	N	230	350-450	26	-	-	900-930	aer	-	-	-
OLT45K	N	260	450-550	21	-	-	870-900	aer	-	-	-
16Mo3	N	265	430-520	19	-	-	910-940	aer	-	-	-
14MoCr4	N	295	430-550	18	-	-	-	-	910-940	ulei	650-720
10CrMo10	-	270	450-600	20	-	-	-	-	900-960	ulei	680-780
20VWMoCr120	-	600	785-930	14	-	-	-	-	1020-1070	ulei	730-780

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A-VII OTELURI PENTRU APARATE SI RECIPIENTE SUB PRESIUNE LA TEMP. JOASE STAS 2883-80; 11502-80; 10382-80											
R37	N	225	360-440	24	27	-	890-920	aer	Nu se călesc		
R44	N	275	430-540	23	27	-	890-920	aer			
09Mn16	N	300	440	21	-	-	890-920	aer			
R52	N	340	510-610	20	27	-	890-920	aer			
Rv52	N	350	510-610	20	55	-	860-920	aer			
R55	N	410	540-680	17	47	-	860-920	aer			
R58	N	450	570-730	17	47	-	860-920	aer			
OLT35R	N	225	340-440	26	-	-	900-930	aer			
OLT45R	N	255	440-540	21	-	-	870-900	aer			
10Ni35	N	340	440-640	20	80	-	830-870	aer			
A-VIII OTELURI PENTRU CONSTRUCTII NAVALE STAS 8324-80											
A	L	235	400-490	22	27	-	910-940	aer	Nu se călesc		
D	L										
E	L										
A32	L	315	470-590	22	31	-	910-940	aer			
D32	L										

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E32	L	315	410-590	22	31	-	910-940	aer			
A36 D36 E36	L L L	355	490-620	21	34	—	910-940	aer	Nu se călesc		
B. OTELURI PENTRU CONSTRUCTII MECANICE **B-I OTELURI DE UZ GENERAL STAS 500-80**											
OL 20	L	–	310	20	–	-			Nu se tratează termic		
OL 32	L	170	310-390	33	–	–					
OL 34	L	200	330-410	31	–	–					
OL 37	L	230	360-440	25	-	–					
OL 42	L	250	410-490	22	–	–					
OL 50	L	280	490-610	21	–	-					
OL 60	L	320	590-710	16	–	–					
OL 70	L	350	690	11	-	-					
B-II OTELURI CARBON DE CALITATE SI ALIATE PENTRU PIESE TRATATE TERMIC STAS 880-80; 791-80											

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
OLC 10	N Cr	210 390	min. 340 640-790	31 13	- -	131 —	880-900	aer	900	apă	180
OLC 15	N Cr	230 440	380 740-880	27 12	- -	146 —	880-900	aer	890	apă	180
OLC 20	N CR	250 310	410 490-640	25 20	- 78	156 —	870-890	aer	890	apă	180
OLC 25	N CR	270 360	450 540-690	24 19	- 69	165 —	860-880	aer	880	apă	580
OLC 35	N CR	310 420	530 620-760	21 17	- 50	183 —	680-700	cuptor	860	apă	580
OLC 45	N CR	360 480	610 700-840	18 24	- 40	207 —	680-700	cuptor	840	ulei	590
OLC 50	N CR	370 510	640 740-870	16 13	- -	218 —	680-700	cuptor	830	ulei	
OLC 55	N CR	390 540	670 780-930	14 12	- -	229 —	680-700	cuptor	820	ulei	580
OLC 60	N CR	400 510	700 830-980	14 11	- -	241 —	680-700	cuptor	820	ulei	580
35Mn16	N CR	350 510	620 740-930	13 12	- 39	207 —	680-720	cuptor	850	ulei	580
40Mn10	CR	640	880-1070	12	40	–	620-670	cuptor	850	ulei	600
65Mn10	N	390	735	8	-	–	775-800	cuptor	800	ulei	350
120Mn120	C	315	880	40	-	–	–	–	–	–	–
18MnCr10	Cr	610	880-1180	9	-	207	870-910	cuptor	880	ulei	180
35MnSi12	CR	740	930-1130	14	59	229	670-720	cuptor	910	ulei	180
15Cr0.8	Cr	460	790-1030	10	–	174	690-720	cuptor	870	ulei	170
32Cr10	Cr	1320	1620-1850	3	30	–	660-710	cuptor	850	ulei	500
40Cr10	CR	790	980-1180	10	29	217	680-720	cuptor	840	ulei	550

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
40BCr10	Cr	740	880-1080	11	49	217	680-720	cuptor	840	ulei	550
13CrNi30	Cr	740	930-1320	8	-	217	680-720	cuptor	800	ulei	180
18CrNi20	Cr	830	1220-1470	7	-	235	650-700	cuptor	880	ulei	180
41CrNi12	Cr	830	980-1180	11	49	217	680-720	cuptor	820	ulei	550
21TiMnCr12	Cr	880	1180-1520	9	-	217	650-700	cuptor	800	ulei	200
28TiMnCr12	Cr	1180	1370-1720	8	-	229	650-700	cuptor	880	ulei	190
12MoCr10	C	780	1080-1270	7	100	-	650-700	cuptor	850	ulei	190
16MoCr10	C	520	1270-1470	6,5	80	-	650-700	cuptor	850	ulei	190
20MoCr10	C	1020	1340-1570	7,5	70	-	650-700	cuptor	850	ulei	580
25MoCr10	C	785	930-1180	12	70	217	700-730	cuptor	850	ulei	650
33MoCr11	Cr	780	980-1180	12	49	217	600-640	cuptor	850	ulei	580
41MoCr11	Cr	880	1080-1270	10	39	217	700-730	cuptor	840	ulei	580
20MoNi35	Cr	880	1170-1520	10	-	206	650-700	cuptor	840	ulei	180
18MoCrNi13	Cr	830	1080-1420	9	-	217	650-700	cuptor	840	ulei	180
20MoCrNi06	Cr	690	880	11	100	217	650-700	cuptor	840	ulei	180
30MoCrNi20	Cr	1030	1230-1420	9	59	248	650-700	cuptor	850	ulei	560
34MoCrNi15	Cr	980	1180-1370	9	39	245	650-700	cuptor	850	ulei	560
35MoCrNi40	Cr	930	1080-1370	9	60	250	650-700	cuptor	850	ulei	550

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
21MoMnCr12	Cr	980	1180-1520	9	-	217	650-700	cuptor	840	ulei	190
38MoCrAl09	Cr	790	980-1180	10	39	229	710-740	cuptor	940	ulei	630
50VCr11	Cr	880	1080-1270	9	39	235	680-720	cuptor	865	ulei	600
B-III OTELURI PENTRU ASCHIERE PE MASINI UNELTE AUTOMATE STAS 1350-80 ; 11521-80											
AUT12	N Cr	225 390	340-440 590-890	28 12	- 40	235 —	900-925	aer	900	apă	200
AUT 20	L	250	450-600	20	-	168	—	—	850-890	apă	540-680
AUT30	Cr		617-764	14	-	235	650-710	cuptor	850-890	apă	540-680
AUT40M	N Cr	440 835	690-810 980-1180	13 7	- 20	207 —	830-860	aer	830	ulei	550
OL56Pb	Rc	-	550-700	-	-	200	860	aer			
38CrO5Pb	Cr	784	882-1127	13,5	70	300	850	aer	850	ulei	550
18MnCr10Pb	Cr	610	880-1180	9	-	207	850	aer	850	ulei	550
38MoCrAl09Pb	Cr	520	700-850	17	-	255	850	aer	850	ulei	550
B-IV OTELURI PENTRU RULMENTI STAS 1456-80 ; 11250-80											
RUL1	R Cr	- -	600-650 2500-3200	- -	- 20-40	170-207 59-60 HRC	760-810	cuptor	810-850	ulei	180
RUL2	R Cr	- -	600-780 2700-3200	- -	- 3-40	170-217 59-63 HRC	760-810	cuptor	800-840	ulei	180
C. OTELURI INOXIDABILE SI REFRACTARE C-I OTELURI INOXIDABILE STAS 11523-80 ; 3583-80											
7AlCr130	Rc Cr	250 400	450-650 550-700	20 18	- -	130-180 160-210	750-800	cuptor	950-1000	ulei	700-750

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10Cr130	Rc CR	300 450	550-700 600-750	20 18	120 100	140-180 170-150	750-800	cuptor	950-1000	ulei	700-750
20Cr130	Rc CR	- 450	750 650-800	- 18	- 80	220 180-230	750-800	cuptor	980-1030	ulei	700-750
20MoCr130	Rc CR	- 550	800 750-900	- 14	- 40	235 220-270	750-800	cuptor	950-1000	ulei	650-700
30Cr130	Rc CR	- 600	800 800-950	- 11	- -	235 235-285	750-800	cuptor	950-1000	ulei	650-750
35MoCr165	Rc CR	- 600	950 800-950	- 14	- 40	285 235-285	750-800	cuptor	980-1030	ulei	650-750
40Cr130	Rc CR	- -	800 500	- -	- -	225 55HRC	750-800	cuptor	1000-1050	ulei	100-200
90Cr180	Rc CR	- -	900 -	- -	- -	255 55HRC	800-850	cuptor	1000-1050	ulei	200-300
8Cr170	Rc	270	450-600	20	-	130-170	750-850	aer	-	-	-
8TiCr170	Rc	270	450-600	20	-	130-170	750-850	aer	-	-	-
2TiMoCr180	Rc	300	450-600	30	85	130-170	750-850	aer	-	-	-
22NiCr170	Rc CR	- 600	950 800-950	- 14	- 42	275 225-275	700-750	cuptor	1000-1050	ulei	630-720
8MoNiCr250	C	490	640-900	25	80	190-230	950-1050	apă	-	-	-
2NiCr185	C	175	450-700	50	120	120-180	-	-	1000-1050	apă	-
10TiNiCr180	C	205	500-750	40	120	130-190	-	-	1020-1070	apă	-
2MoNiCr175	C	195	450-700	45	120	120-180	-	-	1050-1100	apă	-
10TiMoNiCr175	C	225	500-750	40	120	130-190	-	-	1050-1100	apă	-
2NbNiCr250	C	215	490	40	100	-	-	-	1080-1150	apă	-
2CuMoCrNi250	C	245	550	35	120	-	-	-	1080-1150	apă	-

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
C-II OTELURI REFRACTARE STAS 11523-80; 3583-80											
10AlCr170	Rc	220	420-620	20	-	190	750-800	aer	-	-	-
10AlCr180	Rc	270	500-700	12	-	210	800-850	aer	-	-	-
10AlCr240	Rc	280	520-720	10	-	225	800-850	aer	-	-	-
12TiNiCr180	C	210	500-750	40	-	190	-	-	1020-1070	apă	-
12NiCr250	C	210	500-750	35	-	190	-	-	1050-1100	apă	-
15SiNiCr200	C	230	500-750	30	-	225	-	-	1050-1100	apă	-
15SiNiCr250	C	230	550-800	30	-	225	-	-	1050-1100	apă	-
12SiCrNi360	C	230	550-800	30	-	225	-	-	1050-1100	apă	-
40SiCrNi380	C	-	-	-	-	220	-	-	1050-1100	apă	-
10TiAlCrNi320	Rc	210	500-750	30	-	190	900-980	aer	1100-1150	apă	-
	C	170	450-700	30	-	190	-	-			
20VMoCr120	CR	490	690-830	17	80	-	-	-	1030-1070	apă	720-770
20VWMoCr120	CR	590	790-930	14	160	-	-	-	1030-1070	apă	690-700
12TiWNiCr160	C	245	540-690	40	200	-	-	-	1100-1150	apă	-
12NiCoCr210	Cr	345	690-930	20	60	-	-	-	1150-1200	apă	800-830
8NbMoNiCr160	C	215	530-690	35	150	-	-	-	1035-1065	apă	-
8NbVMoNiCr160	C	255	540-740	30	100	-	-	-	1120-1160	apă	-

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
D. OTELURI CU DESTINATIE PRECIZATA **D-I OTELURI PENTRU ARCURI STAS 795-80 ; 3583-80 ; 11523-80**											
OLC55A	Cr	880	1080	6	-	350	680-700	cuptor	830-850	ulei	400-460
OLC65A	Cr	780	980	10	-	360	680-700	cuptor	830-850	ulei	450-510
OLC75A	Cr	880	1080	9	-	400	690-710	cuptor	810-830	ulei	450-510
OLC85A	Cr	980	1130	8	-	400	680-700	cuptor	810-830	ulei	450-510
40Si17A	Cr	980	1180	6	-	375	700-720	cuptor	860-880	ulei	430-490
51Si17A	Cr	1080	1189	6	-	363	700-720	cuptor	860-880	ulei	430-490
51VCr11A	Cr	1180	1320	6	-	450	700-720	cuptor	830-850	ulei	450-520
56Si17A	Cr	1080	1270	6	-	350	700-720	cuptor	860-880	ulei	430-490
60Si15A	Cr	1270	1470	6	-	400	700-720	cuptor	850-870	ulei	430-490
65Mn10	Cr	800	1000	8	-	-	600-650	cuptor	800	ulei	350
65Si2WA	Cr	1700	1900	5	-	321	700-720	cuptor	850-870	ulei	420
67CrSi12A	Cr	1350	1500	5	-	350	700-720	cuptor	850-870	ulei	420-450
D-II OTELURI PENTRU SUPAPE DE MOTOARE TERMICE STAS 11524-80											
45SiCr90	Ce	685	880	14	-	-	-	-	1000	ulei	780
80SiNiCr200	Ce	685	880	6	-	-	-	-	1050	ulei	-760
80SiNiMoWCr150	Ce	850	1100	15	-	-	-	-	1050		760

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
53NNiMnCr180	Ce	600	1050	12	-	-	-	-	1200	ulei	760
45WNiCr180	Ce	450	900	34	-	-	-	-	1050	ulei	-
33MoCr11	Ce	900	100	13	49	217	-	-	850	ulei	600
D-III OTELURI PENTRU AUSTENITIZARE STAS 9485-80											
A1	L	-	270-410	26	-	-	Nu se trateazǎ termic				
A2	L	260	270-390	30	-	-					
A3	L	240	270-370	34	-	-					
A4	L	-	270-370	30	-	-					
A5	L	220	270-340	36	-	-					
E. OTELURI DE SCULE **E-I OTELURI CARBON DE SCULE PENTRU PRELUCRARE LA RECE STAS 1700-80**											
OSC7	Rc Cr	- -	- -	- -	- -	187 54-60 HRC	680-720	cuptor	800-820	apǎ	150-300
OSC8	Rc Cr	- -	- -	- -	- -	187 58-62 HRC	680-720	cuptor	780-800	apǎ	150-300
OSC8M	Rc Cr	- -	- -	- -	- -	187 58-62HRC	680-720	cuptor	780-800	apǎ	150-300
OSC10	Rc Cr	- -	- -	- -	- -	197 58-62HRC	680-720	cuptor	760-780	apǎ	150-300
OSC11	Rc Cr	- -	- -	- -	- -	207 58-62 HRC	680-720	cuptor	760-780	apǎ	150-300
OSC13	Rc Cr	- -	- -	- -	- -	217 56-64 HRC	680-720	cuptor	760-780	apǎ	150-400

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E-II OTELURI ALIATE DE SCULE PENTRU PRELUCRARI LA RECE STAS 3611-80											
117VCr6	Rc Cr	: :	- -	- -	- -	220 58-65 HRC	710-750	cuptor	810-840	ulei	100-400
90VCr10	Rc Cr	- -	- -	- -	- -	228 48-64 HRC	720-760	cuptor	760-820	ulei	180-250
90VMn18	Rc Cr	- -	- -	- -	- -	242 57-62 HRC	690-720	cuptor	750-780	ulei	180-250
105CrW20	Rc Cr	- -	- -	- -	- -	228 58-64 HRC	760-790	cuptor	800-825	ulei	150-230
97MnCrW14	Rc Cr	- -	- -	- -	- -	225 60-64 HRC	770-790	cuptor	800-830	ulei	160-220
130W37	Rc Cr	- -	- -	- -	- -	253 64-67 HRC	750-780	cuptor	790-870	ulei	150-230
150VMoCr120	Rc Cr	- -	- -	- -	- -	255 58-64 HRC	810-840	cuptor	970-1000	ulei	100-150
200Cr120	Rc Cr	- -	- -	- -	- -	260 58-64 HRC	810-840	cuptor	930-960	ulei	210-230
E III OTELURI ALIATE DE SCULE PENTRU PRELUCRARI LA CALD STAS 3611-80											
39VMoCr53	Rc Cr	- -	- -	- -	- -	231 38-55 HRC	750-790	cuptor	1020-1050	ulei	550-650
40VMoCr52	Rc Cr	- -	- -	- -	- -	240 40-53 HRC	750-800	cuptor	1000-1040	ulei	550-650
36WMoCr53	Rc Cr	- -	- -	- -	- -	240 38-55 HRC	750-800	cuptor	1020-1060	ulei	550-650
30VMoCr30	Rc Cr	- -	- -	- -	- -	230 34-52 HRC	750-800	cuptor	1020-1060	ulei	500-670
55MoCrNi15	Rc Cr	- -	- -	- -	- -	240 40-60 HRC	680-700	cuptor	840-860	ulei	520-560
57VMoCrNi17	Rc Cr	- -	- -	- -	- -	255 40-60 HRC	660-700	cuptor	840-860	ulei	500-600
30VCrW82	Rc Cr	- -	- -	- -	- -	255 40-55 HRC	740-780	cuptor	1075-1125	aer	600-620
35SiWCr52	Rc Cr	- -	- -	- -	- -	235 40-54 HRC	750-800	cuptor	1020-1060	ulei	450-600

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
E-IV OTELURI RAPIDE STAS 7382-80											
Rp1	Rc CR	- -	- -	- -	- -	260 63-66 HRC	790-820	cuptor	1250-1300	ulei	560-580
Rp2	Rc CR	- -	- -	- -	- -	280 63-63 HRC	790-820	cuptor	1270-1310	ulei	560-580
Rp3	Rc CR	- -	- -	- -	- -	280 63-66 HRC	800-830	cuptor	1250-1300	ulei	560-580
Rp5	Rc CR	- -	- -	- -	- -	250 63-66 HRC	800-830	cuptor	1190-1230	ulei	540-570
Rp9	Rc CR	- -	- -	- -	- -	280 63-66 HRC	800-840	cuptor	1180-1220	ulei	520-550
Rp10	Rc CR	- -	- -	- -	- -	280 63-66 HRC	770-840	cuptor	1190-1230	ulei	530-540
E-V OTELURI DE SCULE PENTRU PRELUCRAREA LEMNULUI STAS 1699-80											
OSL4	-	-	-	-	-	-	740-800	cuptor	790-820	apă	200-250
OSL8	-	-	-	-	-	-	730-800	cuptor	760-820	apă	220-260
OSL10	-	-	-	-	-	-	710-780	cuptor	760-820	apă	200-240
OSL4Cr	-	-	-	-	-	-	750-780	cuptor	980-1020	ulei	100-420
OSL5Cr	-	-	-	-	-	-	750-780	cuptor	980-1020	ulei	100-420
OSL6Cr	-	-	-	-	-	-	770-810	cuptor	980-1020	ulei	100-420
F. OTELURI TURNATE F-I OTEL TURNAT DE UZ GENERAL STAS 600-82											
OT400	Rc	200	390	20	50	110	830-890	aer	-	-	-
OT450	Rc	240	440	18	40	124	830-890	aer	-		-

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
OT500	Rc	270	490	15	35	138	830-890	aer	830-850	apă	570-620
OT550	Rc	310	540	12	30	153	830-890	aer	820-840	apă	550-650
OT600	Rc	340	590	10	25	169	830-890	aer	820-840	apă	550-650
OT700	Rc	410	690	6	-	179	830-890	aer	810-830	apă	550-650
F-II OTELURI ALIATE TURNATE IN PIESE STAS 1773-80											
T20Mn 14	N	300	540	18	49 –	160	890 890	aer aer	880-920 850-880	ulei ulei	600-650 600-650
T35Mn 14	N	300	540	12	29	160	860	aer	835-865	ulei	580-600
T40Mn 11	N	420	640	16	39	190	880	aer	870-880	ulei	570-600
T30SiMn 12	N	345	590-830	14	29	174	880	aer	810-900	apă	510-600
T40MnNi07	N	410	640-880	16	39	190	860	aer	870-880	apă	510-600
T34MoCr09	N	490	640-880	12	35	-	860	aer	850-860	apă	640-680
T35MoCrNi08	N	440	640-880	15	29	190	860	aer	860-890	apă	640-680
F-III OTELURI ALIATE TURNATE REFRACTARE SI ANTICOROZIVE STAS 6855-78											
T20MoCr 90	Rc	410	540	14	-	170-250	800-900	cuptor	800-900	aer	680-700
T15 Cr 130	Rc	390	550	15	-	190-240	800-950	cuptor	970-1050	apă	650-750
T20 Cr 130	Rc	440	640	10	-	190-240	800-850	cuptor	970-1020	ulei	650-750
T40SiCr 130	Rc	340	440	4	-	200-[illegible]30	800-850	cuptor	-	-	-
T40Cr 130	Rc	340	440	2	-	250-300	800-850	cuptor	-	-	-

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
T75Cr 280	Rc	290	390	-	-	230-300	750-850	cuptor	-	-	-
T70MoCr 280	Rc	-	880	-	-	250-300	700-800	cuptor	-	-	-
T12TiMoNiCr175	Rc	185	490	20	-	140-190	-	-	1050-1100	apă	400-450
T15NiCr 180	Rc	235	490	20	-	140-190	-	-	1030-1070	aer	-
T15MoNiCr180	Rc	235	490	20	-	140-190	-	-	1030-1070	aer	-
T35NiCr 260	Rc	245	490	10	-	150-220	-	-	1050-1100	apă	-
T25NiCr 250	Rc	225	490	20	-	140-190	850-900	cuptor	1050-1100	apă	-
T20CrNi 370	Rc	390	440	20	-	-	-	-	1000-1100	apă	-
T35CrNi 370	Rc	195	390	8	-	150-220	-	-	1050-1100	apă	-
F-IV OTELURI AUSTENITICE MANGANOASE TURNATE STAS 3718-80											
T105Mn 120	T										
T130Mn 135	T										
T130MoMn 135	T										
T110Mn 110	T	245-390	780-980	40-55	20-30	180-200	-	-	1050-1150	apă	-
T120Mn 110	T										
T100Mn 120	T										
T120CrMn 130	T										
T100NiMn 130	T										

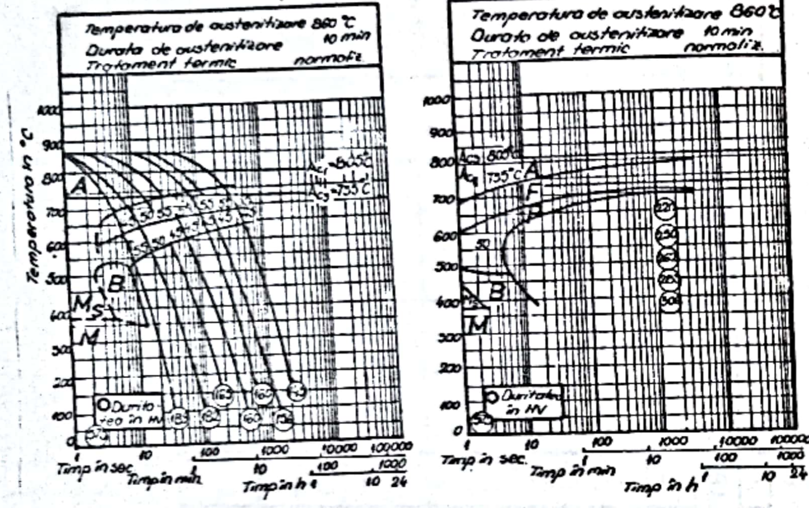
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
T100MoMn130 T70Mn140	T T	245-390	780-980	40-55	20-30	180-200	–	–	1050-1150	apă	–
G. FONTE **G-I FONTE CENUSII STAS 568-82**											
Fc 100	T	-	100	-	-	100-150					
Fc 150	T	-	150	-	-	140-190					
Fc 200	T	-	200	-	-	170-210					
Fc 250	T	-	250	-	-	180-240	850-950	cuptor	850-890	ulei	580
Fc 300	T	-	300	-	-	200-260					
Fc 350	T	-	350	-	-	210-280					
Fc 400	T	-	400	-	-	230-300					
G-II FONTE CU GRAFIT NODULAR STAS 6071-82											
Fgn 370-17	T	230	370	17	16	140-180					
Fgn 400-12	T	250	400	12	-	150-200					
Fgn 450-5	T	320	450	5	-	160-220					
Fgn 500-7	T	350	500	7	-	170-240	900-950	cuptor	880-900	ulei	600
Fgn 600-2	T	400	600	2	-	210-280					
Fgn 700-2	T	450	700	2	-	230-300					
Fgn 800-2	T	500	800	2	-	240-310					

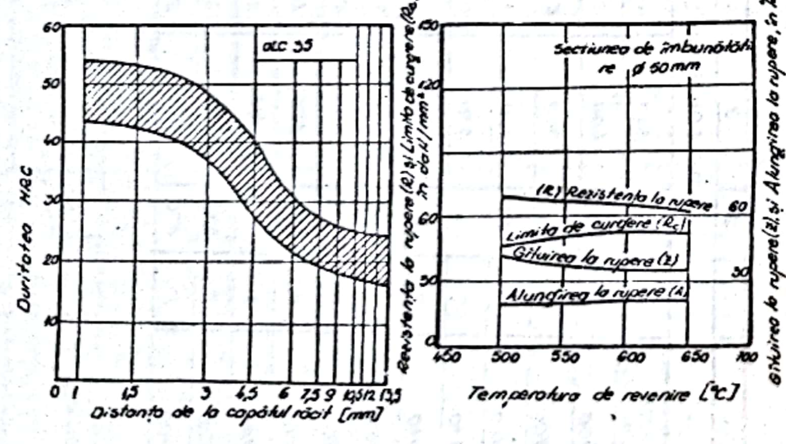
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
G-III FONTE MALEABILE STAS 569-79											
Fma 350	T	-	350	4	-	240	900	hematită			
Fma 400	T	220	400	5	-	220					
Fmn 300	T	-	300	6	-	160					
Fmn 320	T	170	320	8	-	160	950-1000	nisip			
Fmn 350	T	170	350	10	-	150					
Fmn 370	T	190	370	12	-	150					
Fmp 450	T	260	450	6	-	220			850-890	ulei	600
Fmp 500	T	300	500	5	-	240		hematită			
Fmp 550	T	330	550	4	-	260	1000				
Fmp 600	T	360	600	3	-	270					
Fmp 650	T	390	650	3	-	270					
Fmp 700	T	500	700	2	-	280					

OLC35 STAS 880-80

C	Si	Mn
0,35	0,25	0,65

Recoacere		Călire		Rev
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
680-700	cuptor	860	apă	580

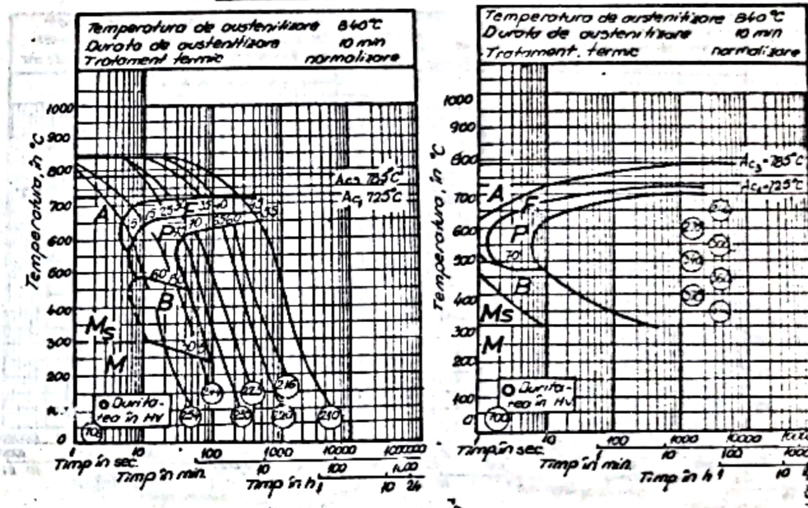


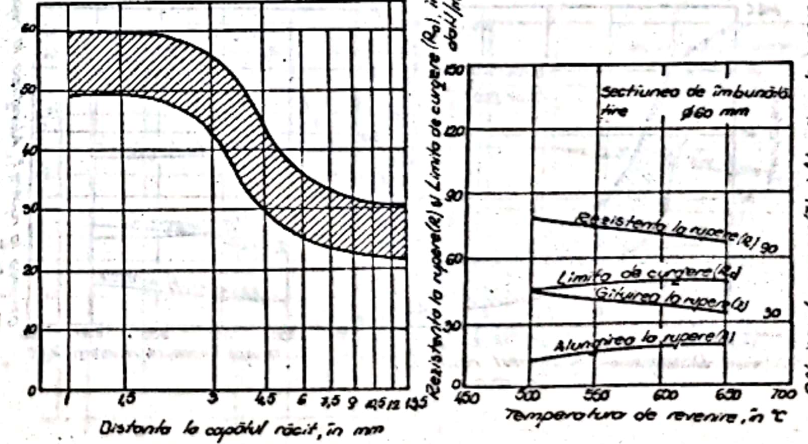


OLC45 STAS 880-80

C	Si	Mn
0,45	0,25	0,75

Recoacere		Călire		Rev
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
680-700	cuptor	840	ulei	590

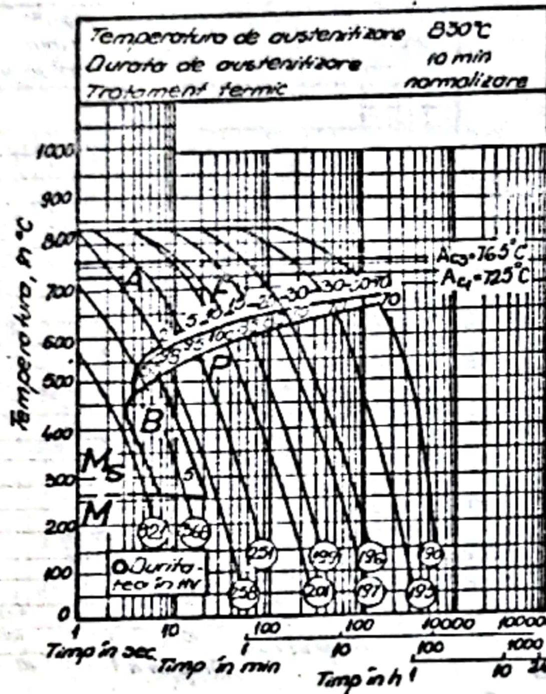


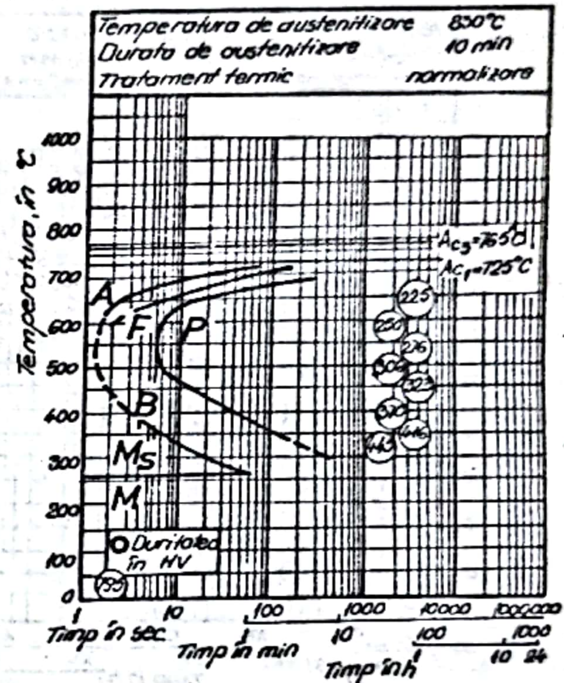


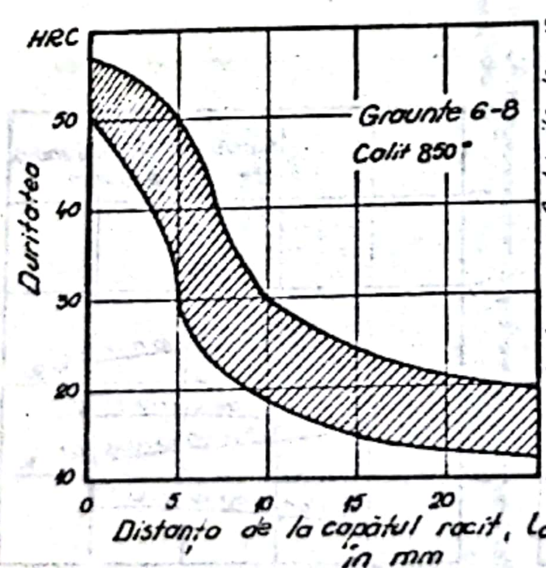
OLC55 STAS 880-80

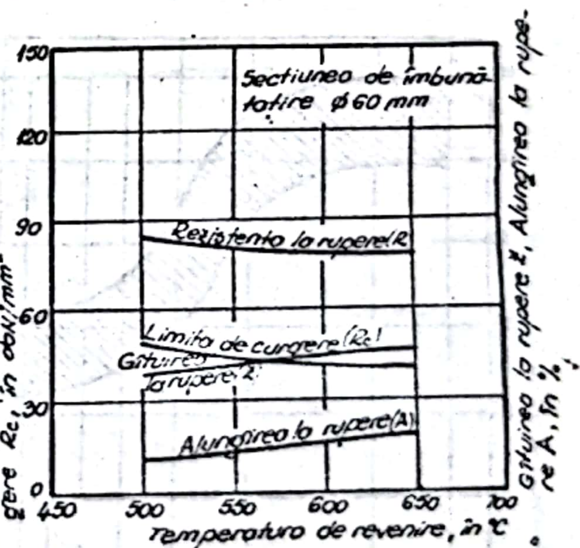
C	Si	Mn
0,55	0,25	0,75

Recoacere		Calire		Rev.
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
680-700	cuptor	820	ulei	580









OLC 60 STAS 880-80

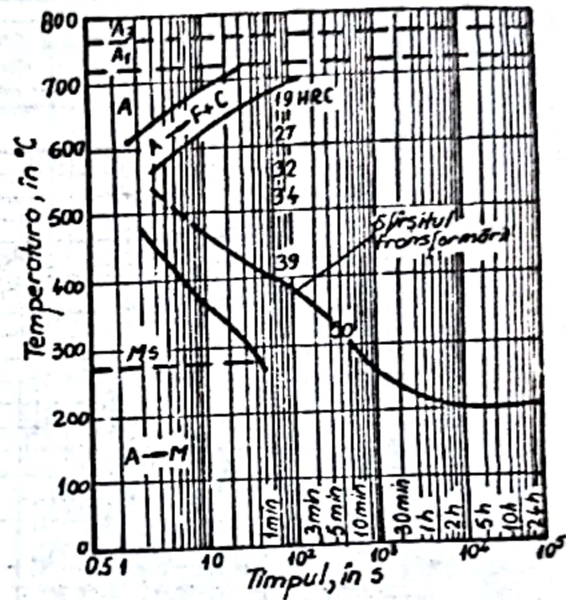
C	Si	Mn
0,60	0,25	0,75

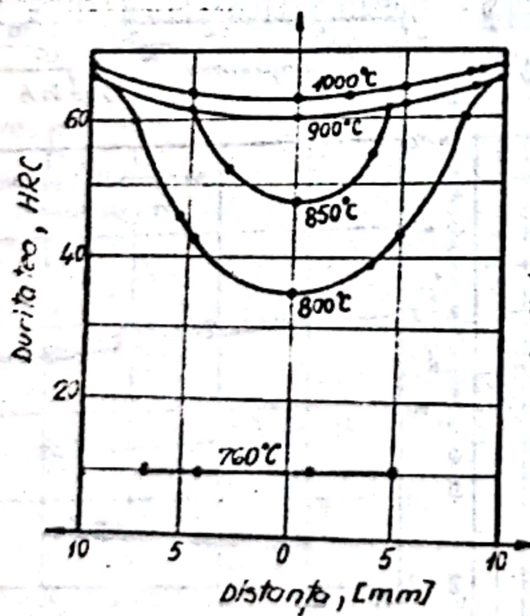
Recoacere		Călire		Rev.
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
680-700	cuptor	820	ulei	580

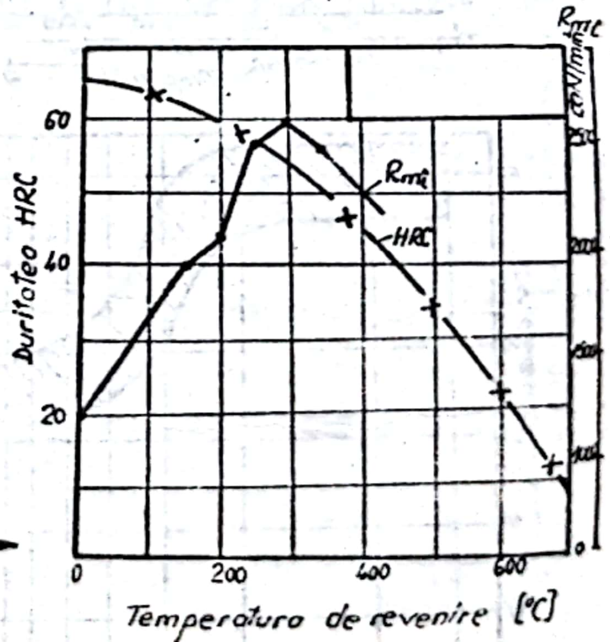
OSC 7 STAS 1700-80

C	Si	Mn	Cr	Ni
0,65	0,19	0,39	0,16	0,19

Recoacere		Călire		Rev.
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
680-720	cuptor	800-820	apă	150-300



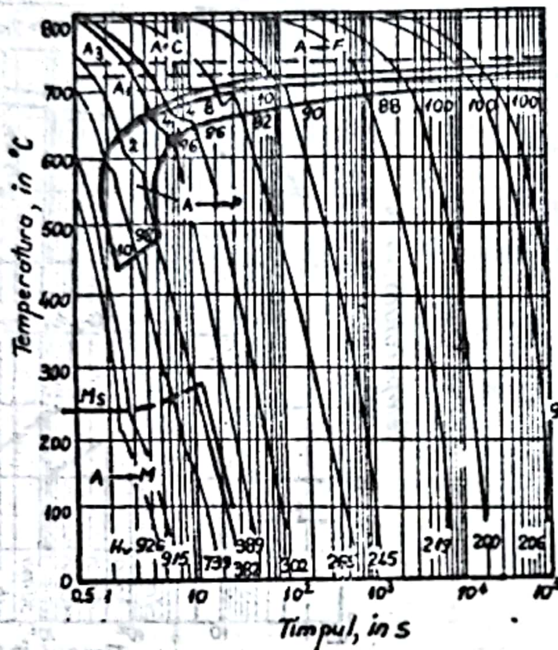


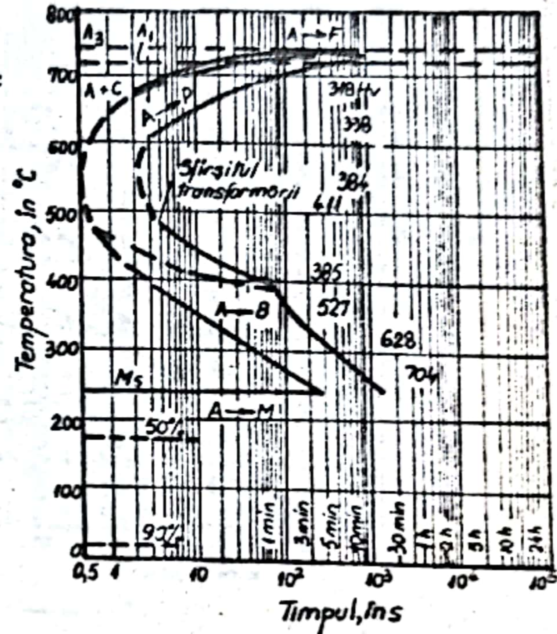


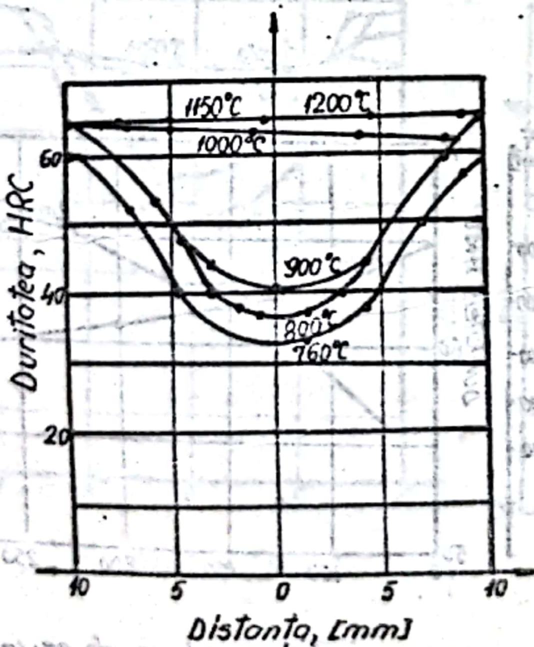
OSC8 STAS 1700-80

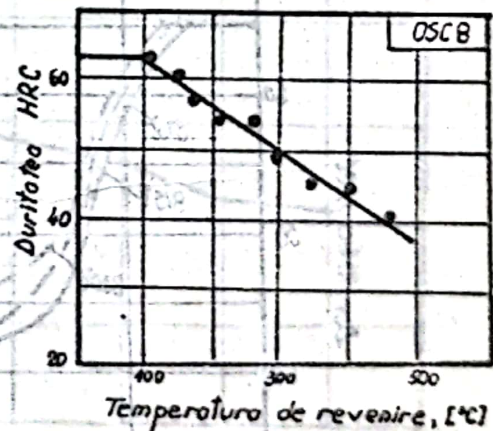
C	Si	Mn	Cr	Ni
0,76	0,22	0,29	0,11	0,07

Recoacere		Călire		Rev.
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
680-720	cuptor	780-800	apă	150-300





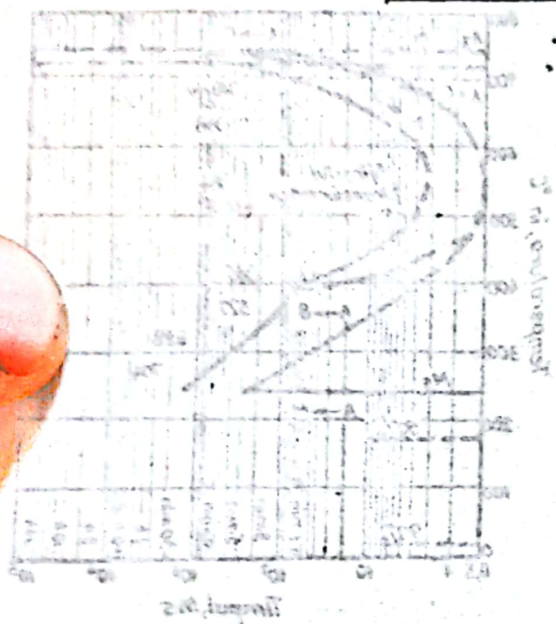


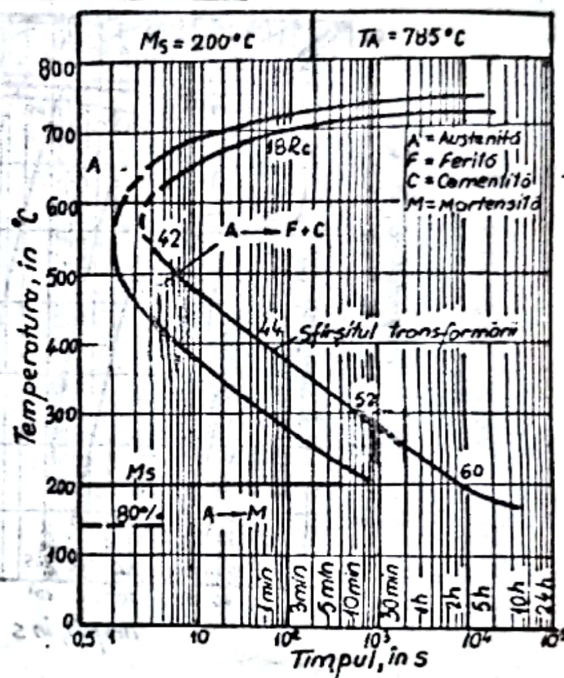


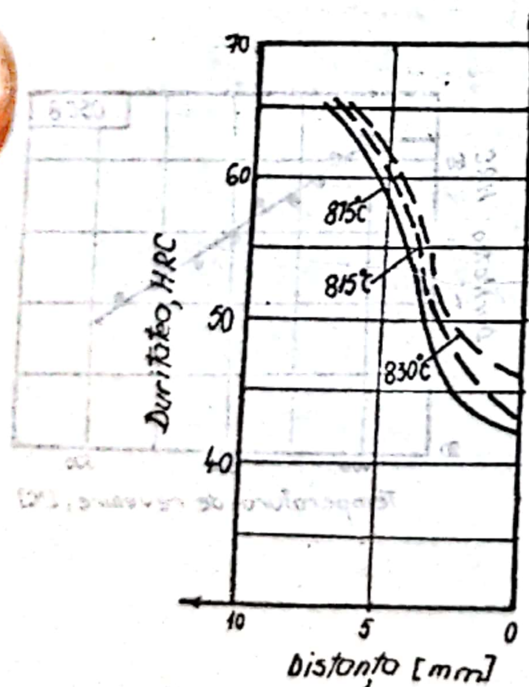
OSC 11 STAS 1700-80

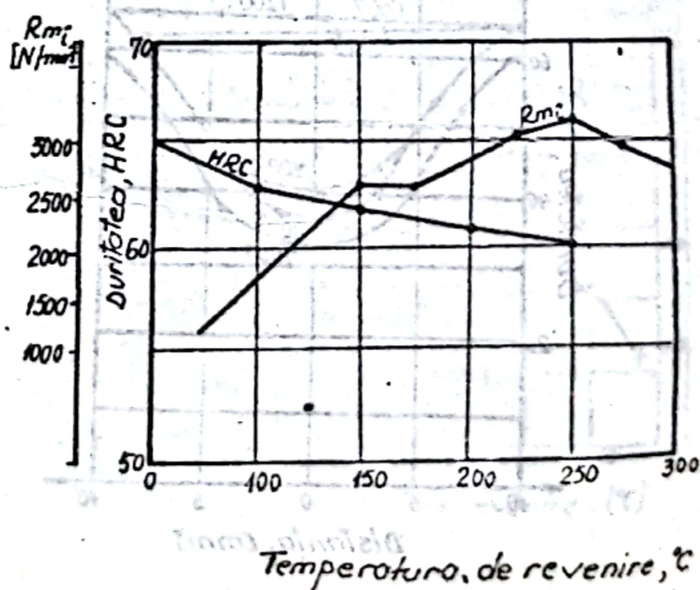
C	Si	Mn
1,14	0,16	0,22

Recoacere		Călire		Rev.
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
680-720	cuptor	760-780	apă	150-300





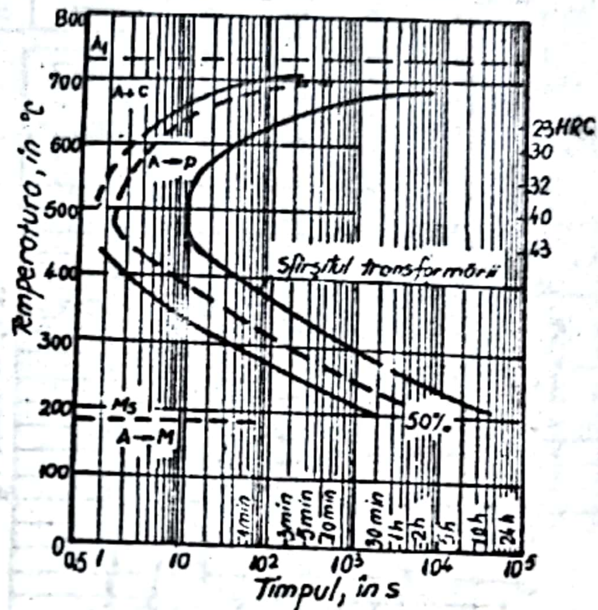


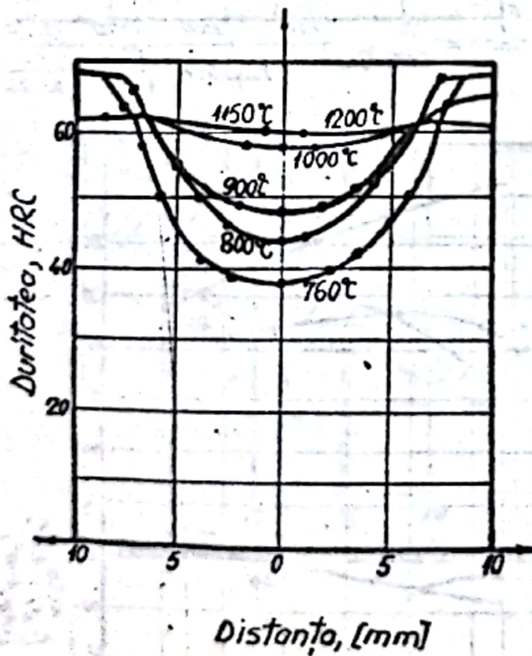


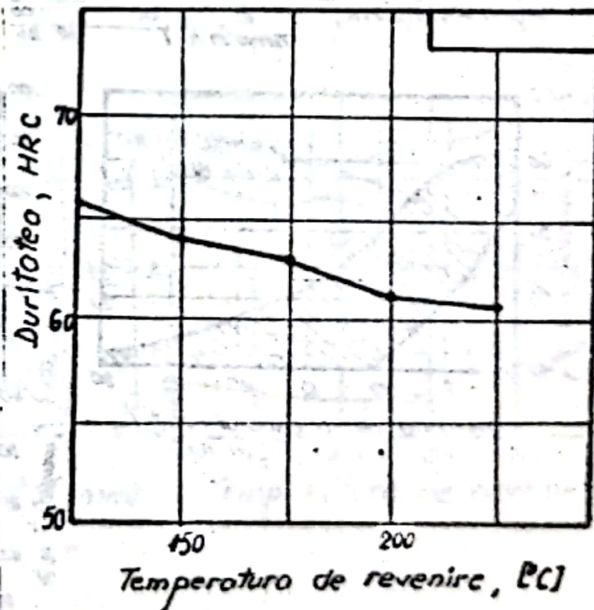
OSC13 STAS 1700-80

C	Si	Mn	Cr	Ni
1,29	0,27	0,20	0,04	0,03

Recoacere		Călire		Rev.
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
680-720	cuptor	760-780	apă	150-400



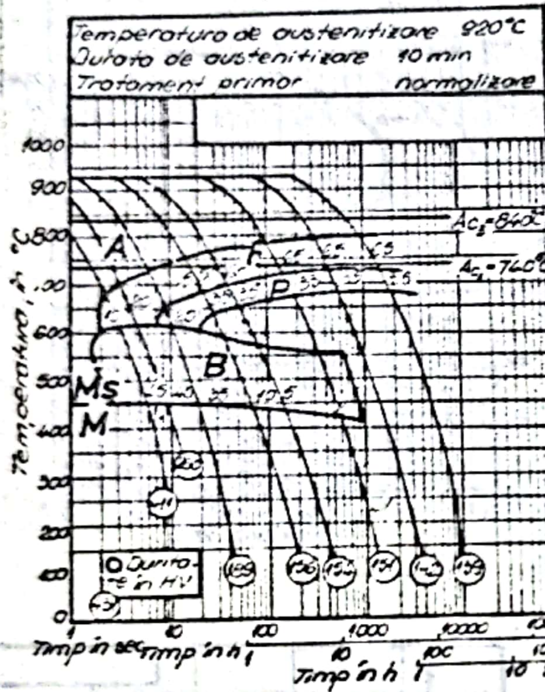


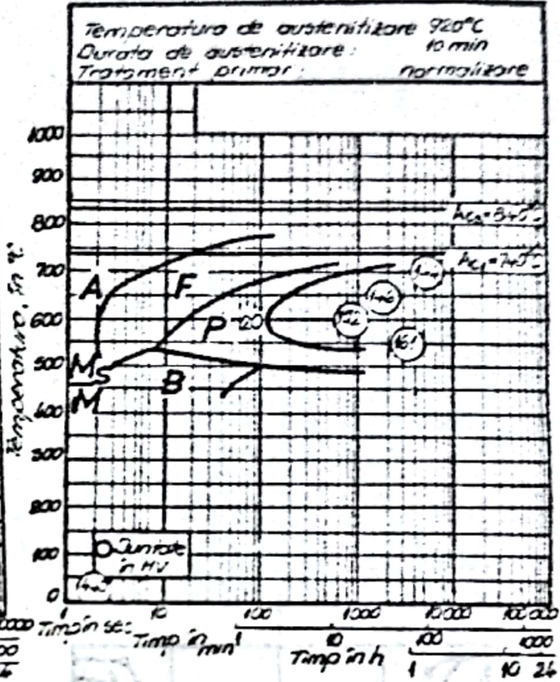


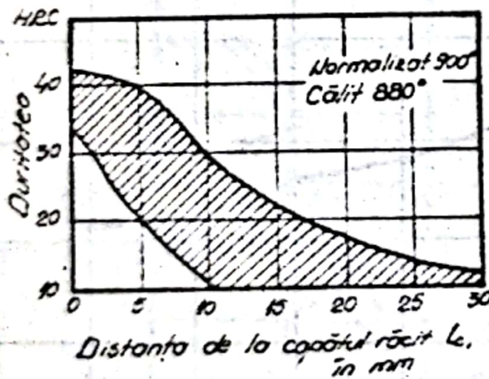
15Cr08 STAS 791-80

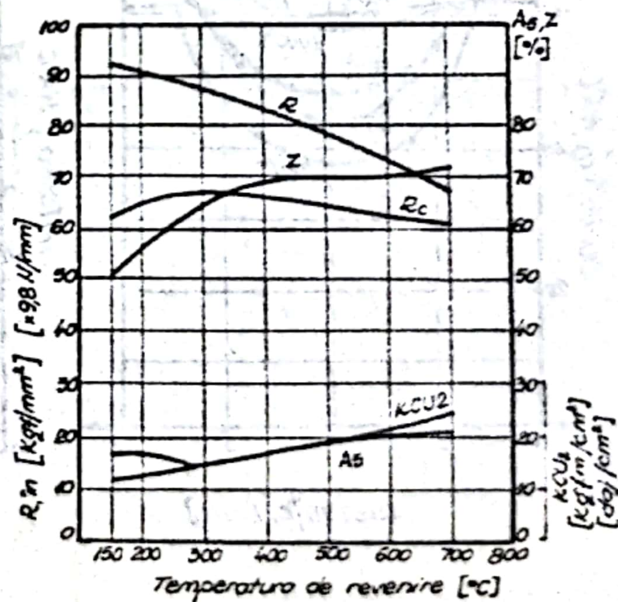
C	Si	Mn	Cr
0,15	0,25	0,50	0,65

Recoacere		Călire		Rev.
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
690-720	cuptor	870	ulei	170





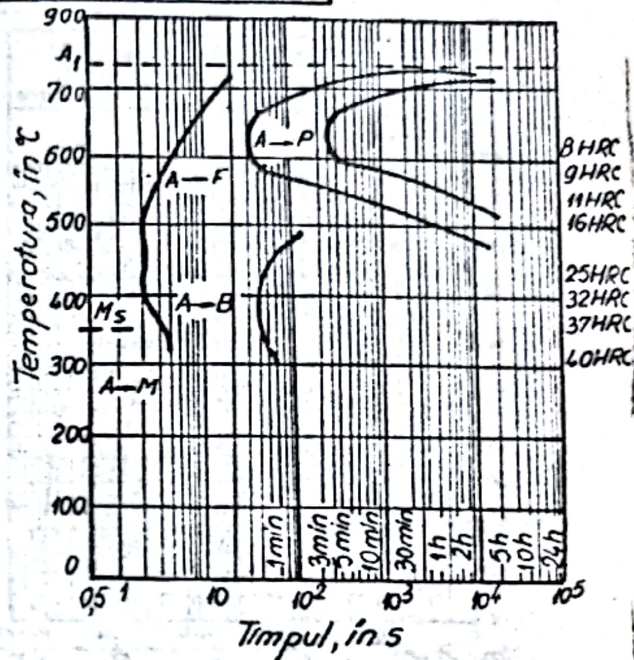


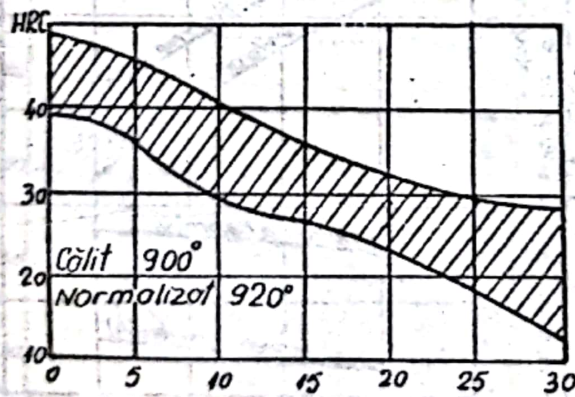


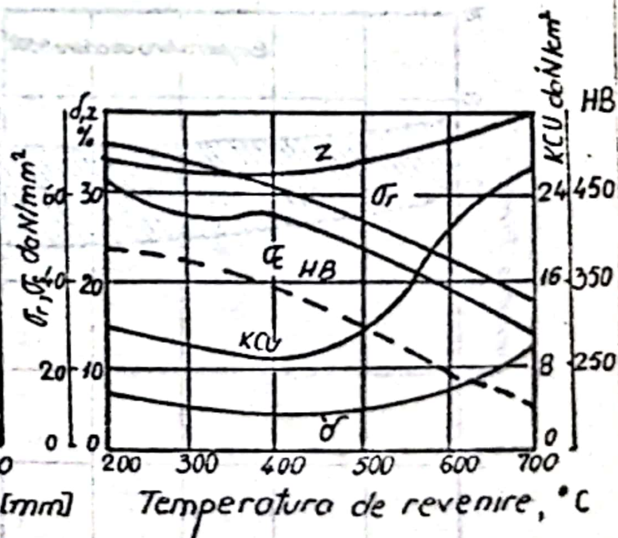
21TiMnCr12 STAS 791-80

C	Si	Mn	Cr	Ti
În limitele mărcii				

Recoacere		Călire		Rev
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
650-700	cuptor	800	ulei	200



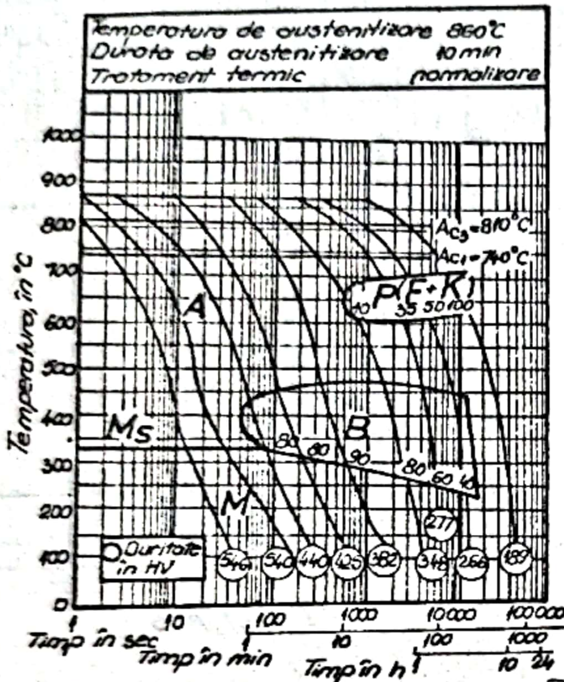


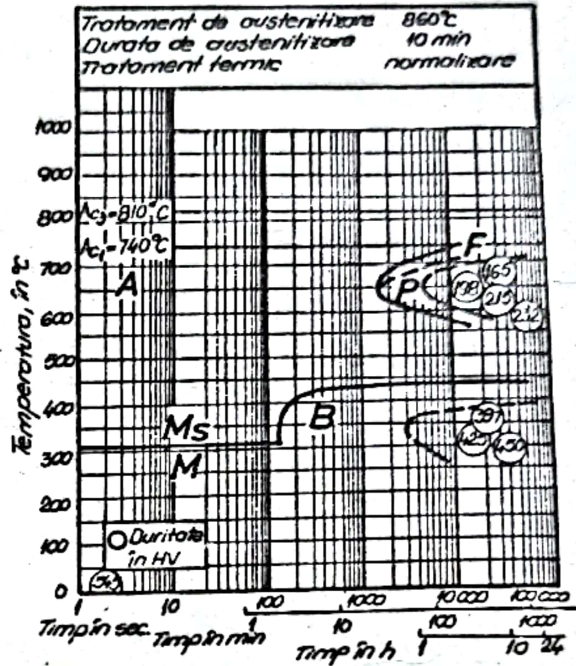


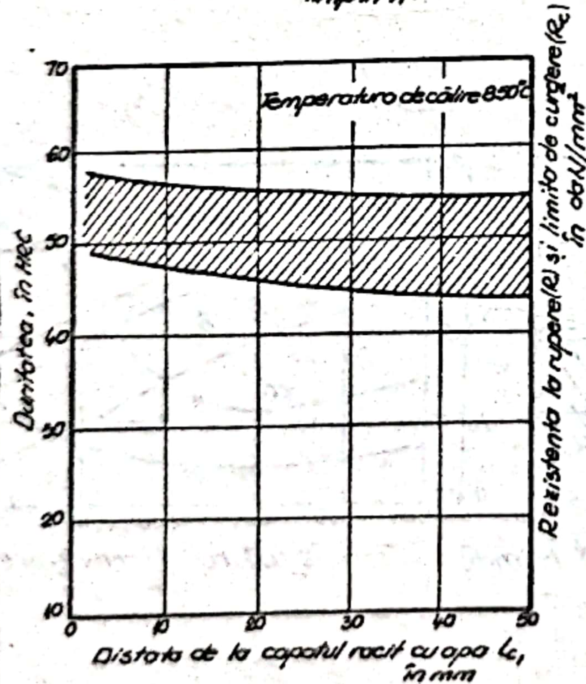
30 MoCrNi 20 STAS 791-80

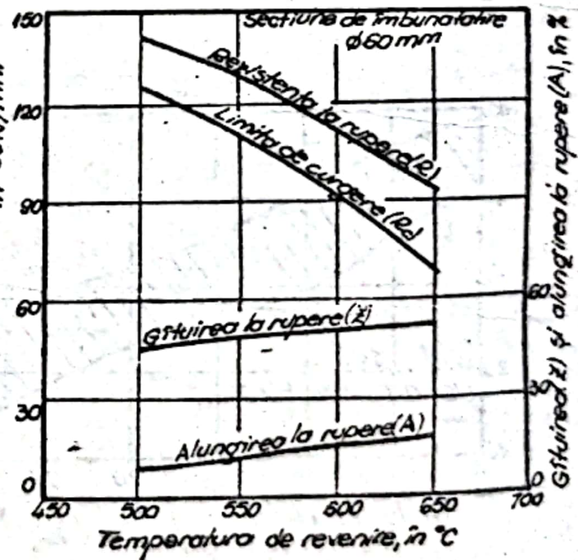
C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni
0,30	0,25	0,45	2,0	0,4	2,0

Recoacere		Călire		Rev.
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
650-700	cuptor	850	ulei	560





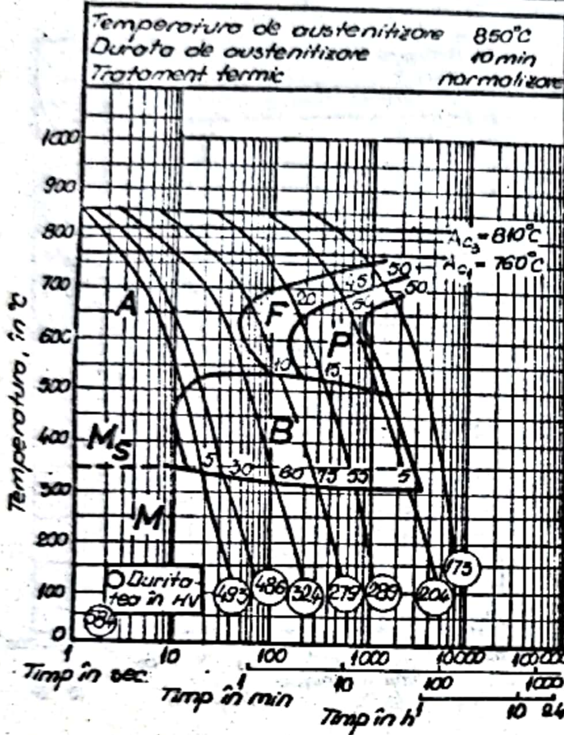


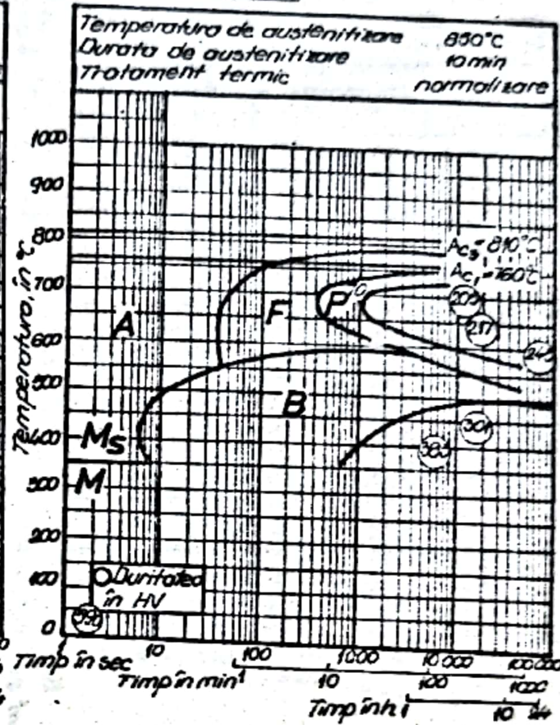


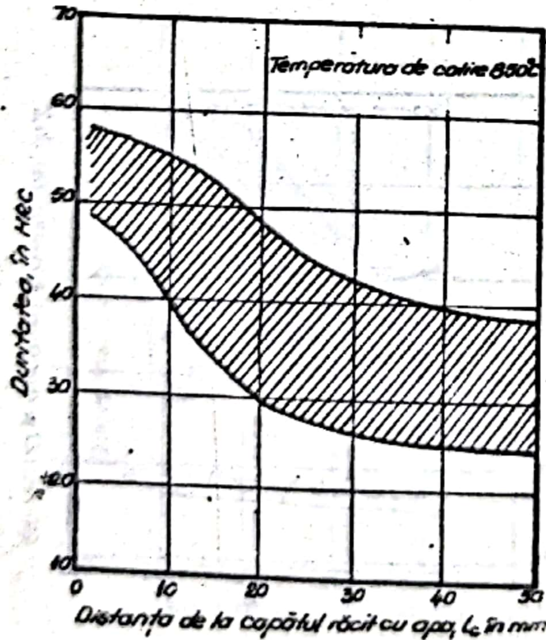
33MoCr11 STAS-791-80

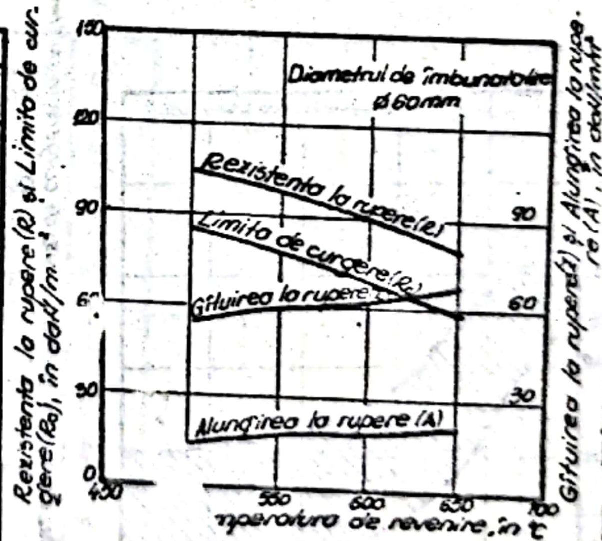
C	Si	Mn	Cr	Mo
0,33	0,25	0,65	1,05	0,25

Recoacere		Călire		Rev.
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
600-640	cuptor	850	ulei	580





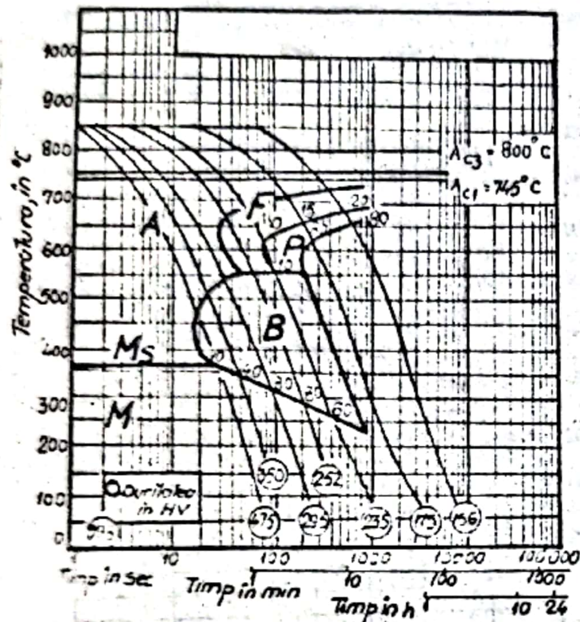


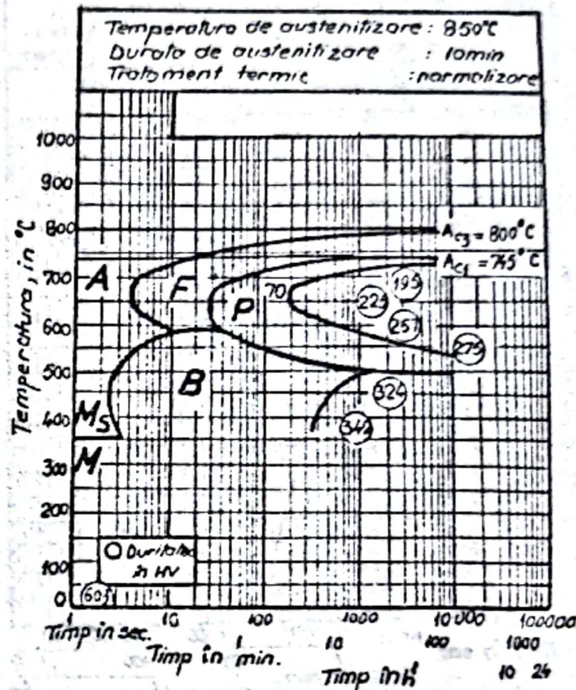


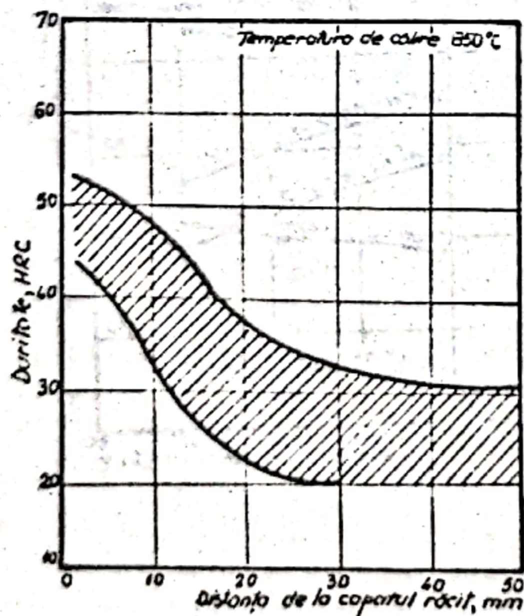
35Cr10 STAS 791-80

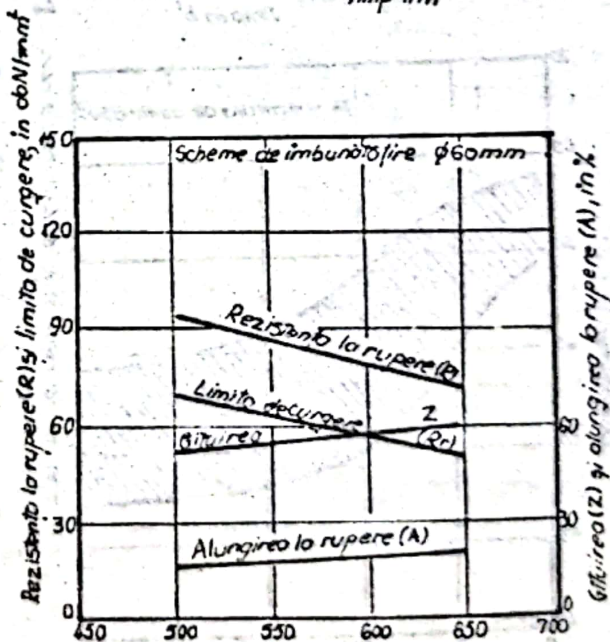
C	Si	Mn	Cr
0,34	0,25	[illegible]	1,05

Recoacere		Călire		Rev.
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
660 - 710		850		500





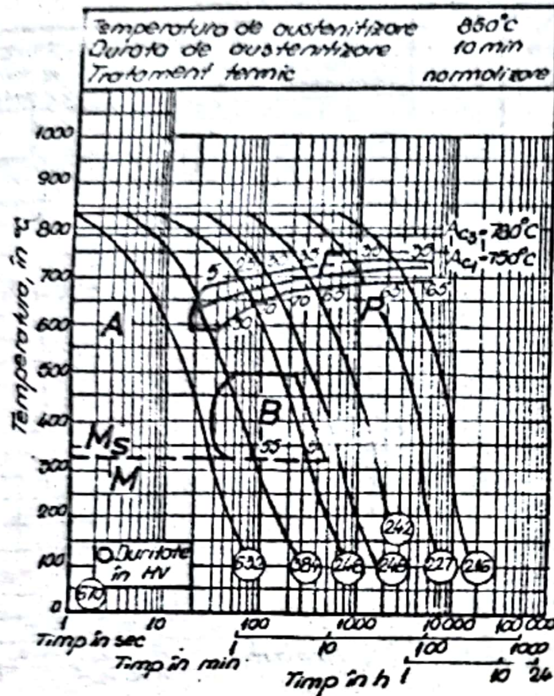


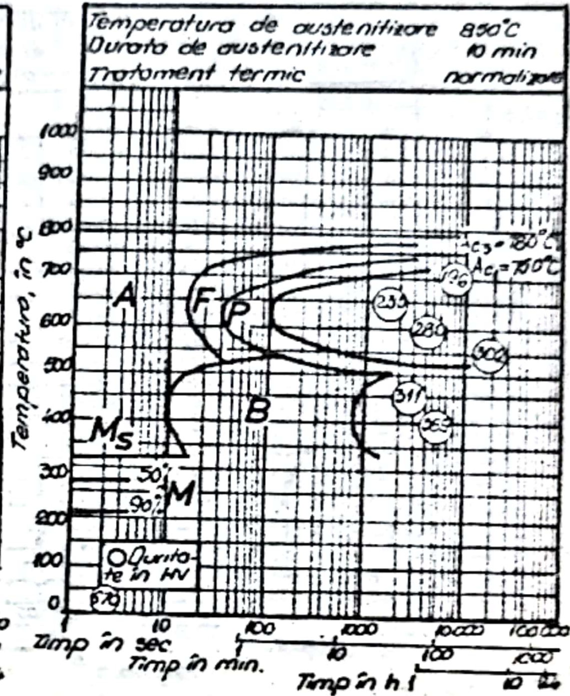


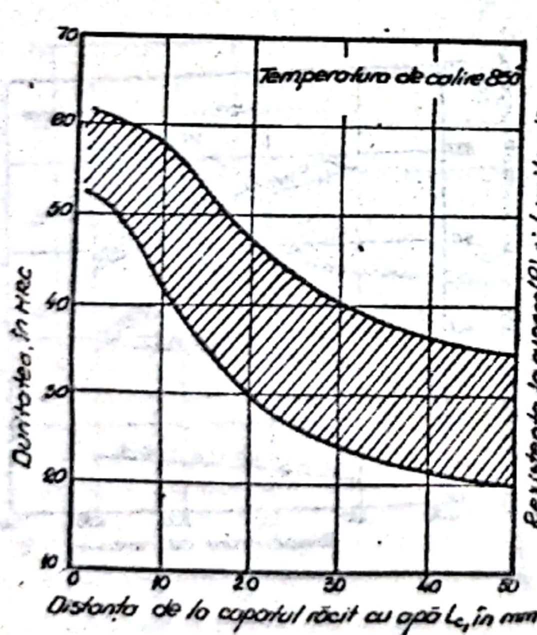
40Cr10 STAS 791-80

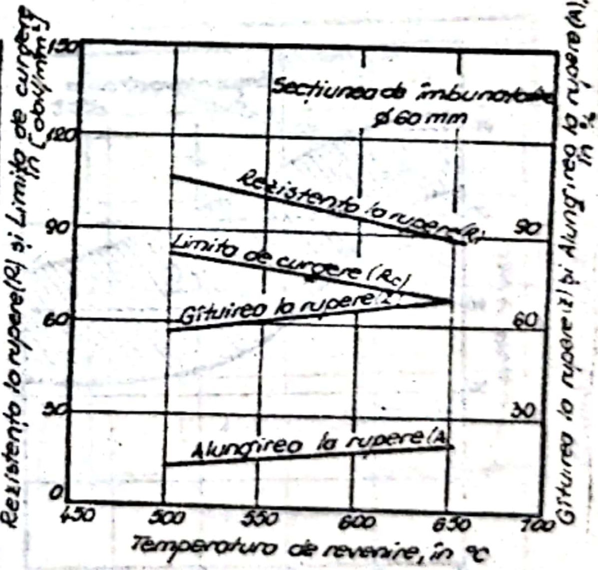
C	Si	Mn	Cr
0,	0,25	0,65	1,05

Recoacere		Călire		Rev.
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
680-720	cuptor	840	ulei	550





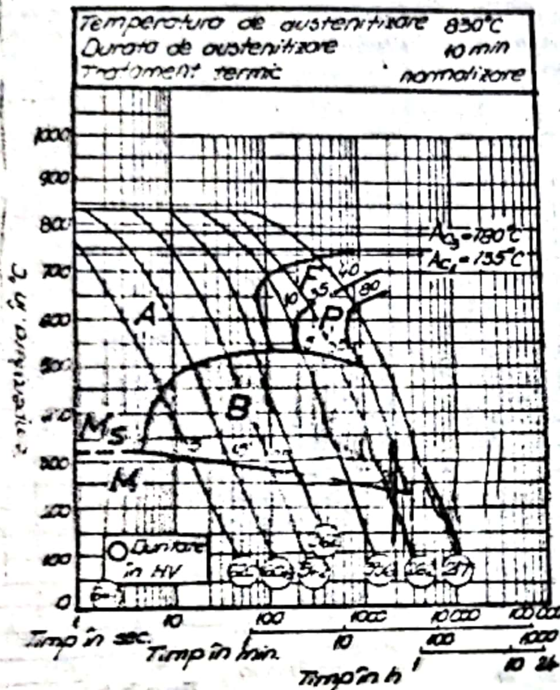


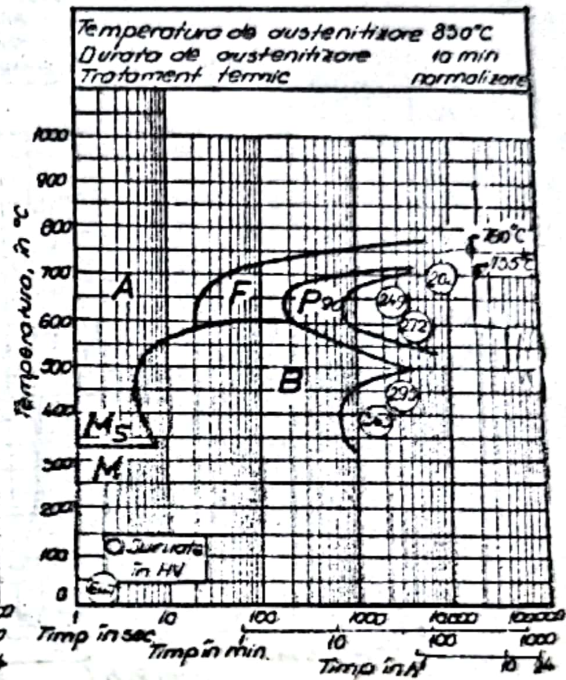


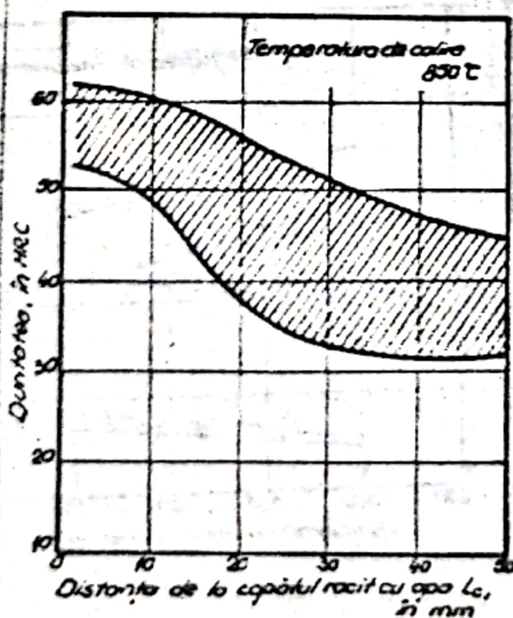
41MoCr11 STAS 791-80

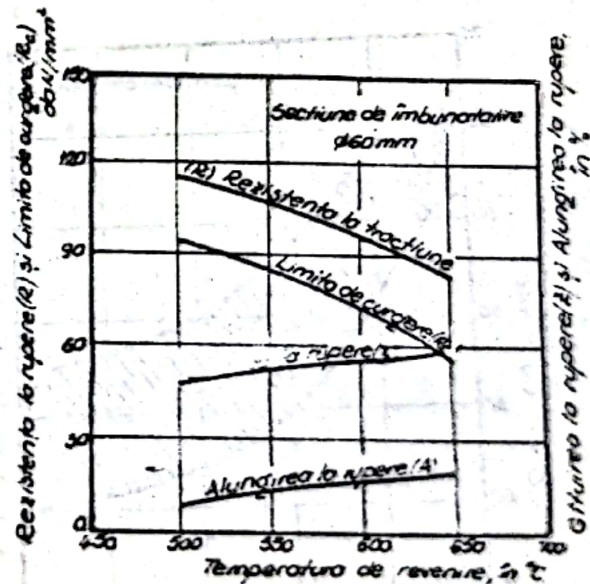
C	Si	Mn	Cr	Mo
0,42	0,25	0,65	1,05	0,25

Recoacere		Călire		Rev
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
700-730	cuptor	840	ulei	580





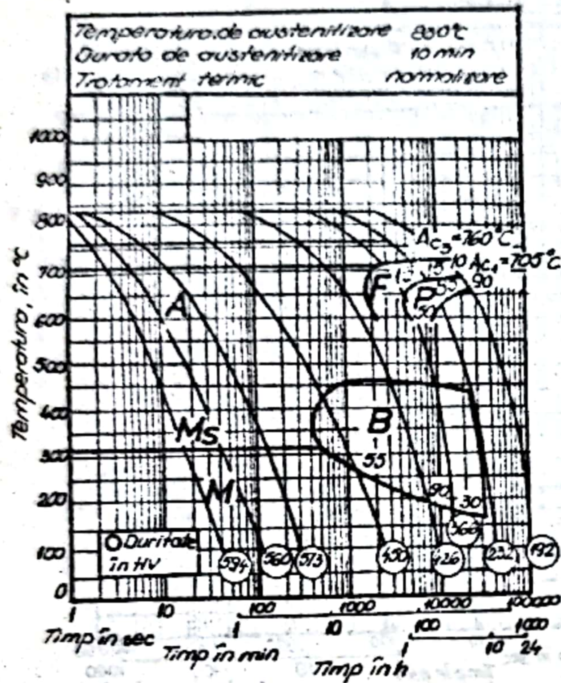


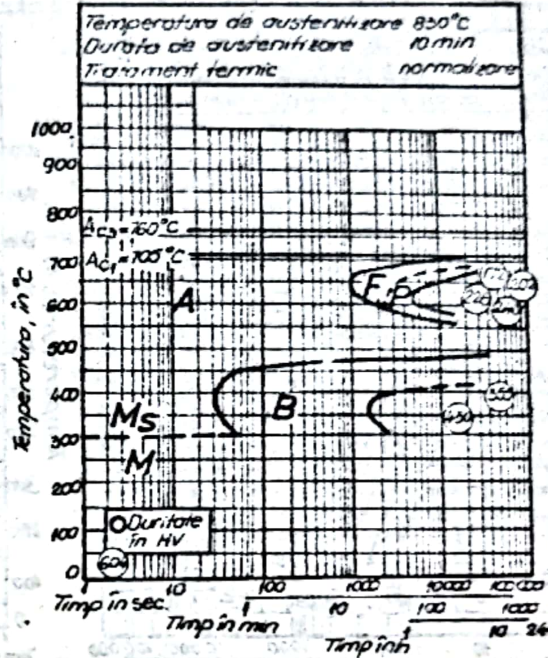


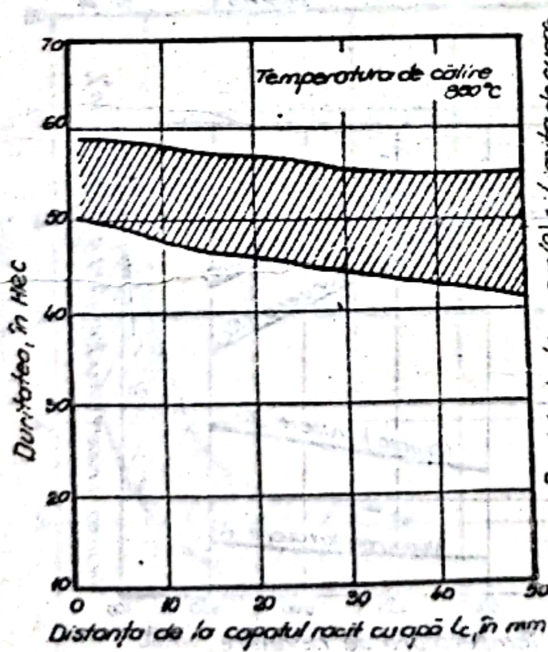
34MoCrNi15 STAS 791-80

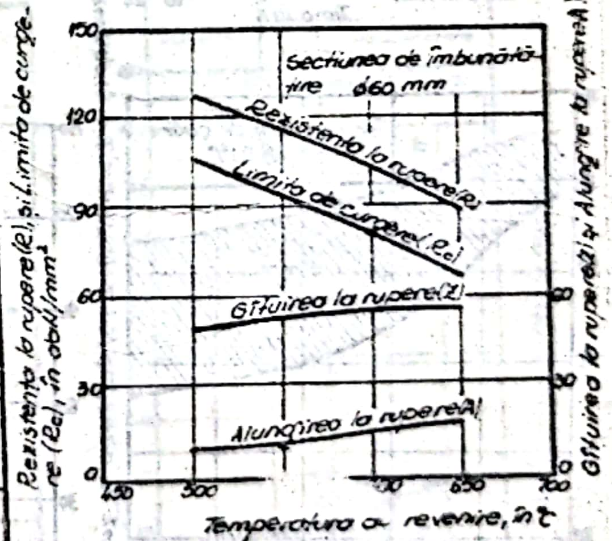
C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni
0,34	0,25	0,55	1,55	0,2	0,55

Recoacere		Călire		Rev
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
650-700	cuptor	850	ulei	560





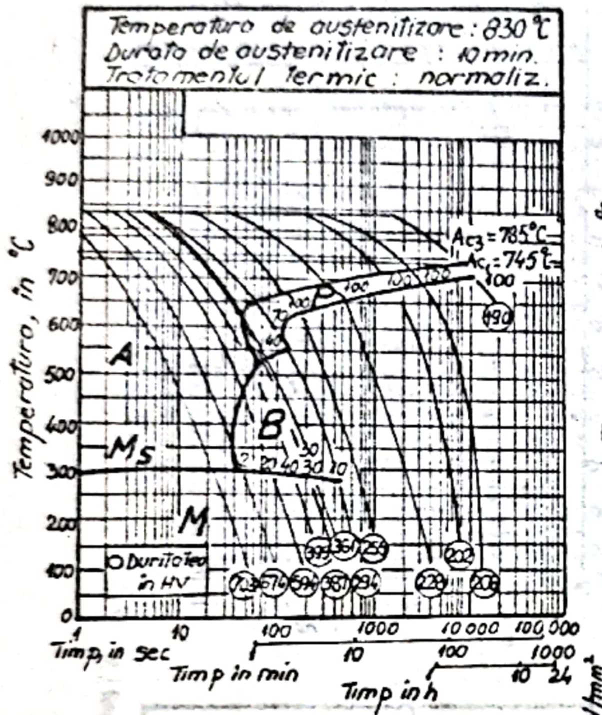


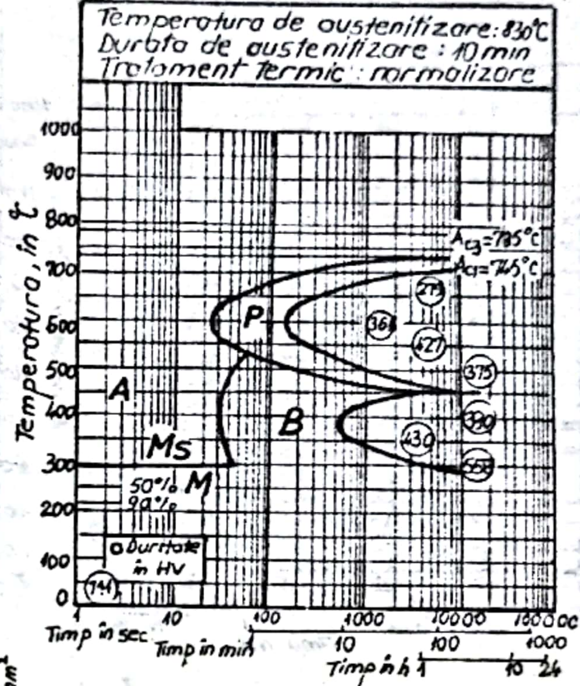


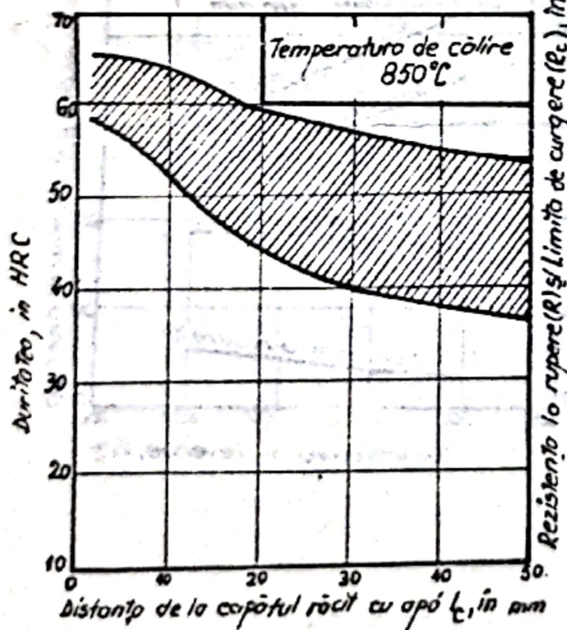
50VCr11A STAS 791-80

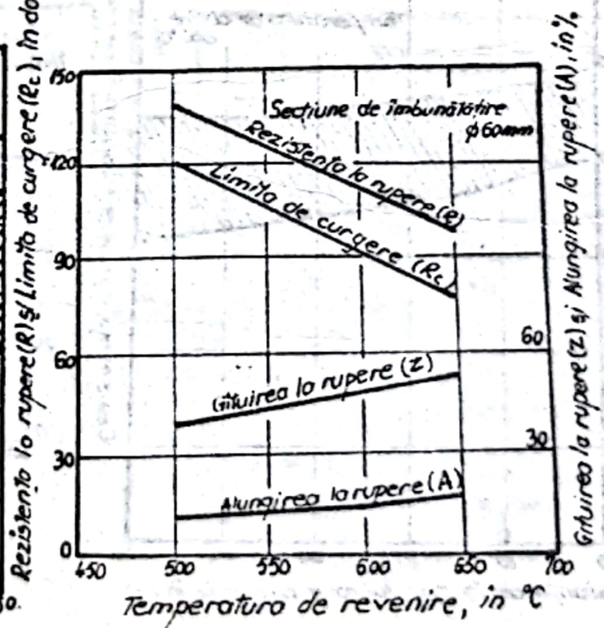
C	Si	Mn	Cr	
0,5	0,25	0,9	1,05	

Recoacere		Călire		Rev.
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
680-720	cuptor	865	ulei	600





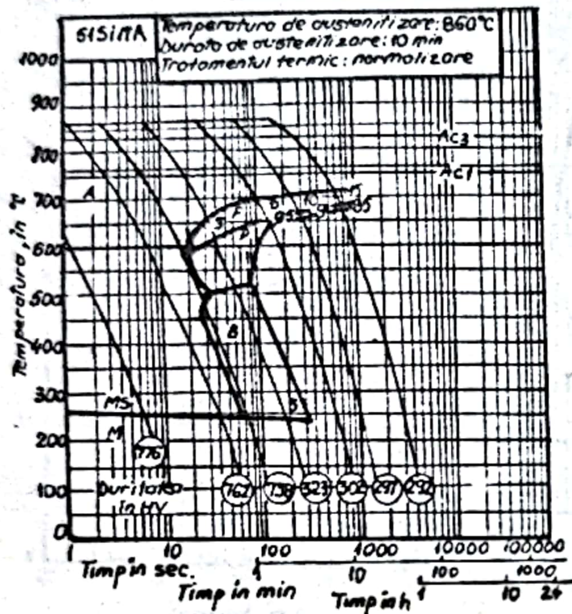


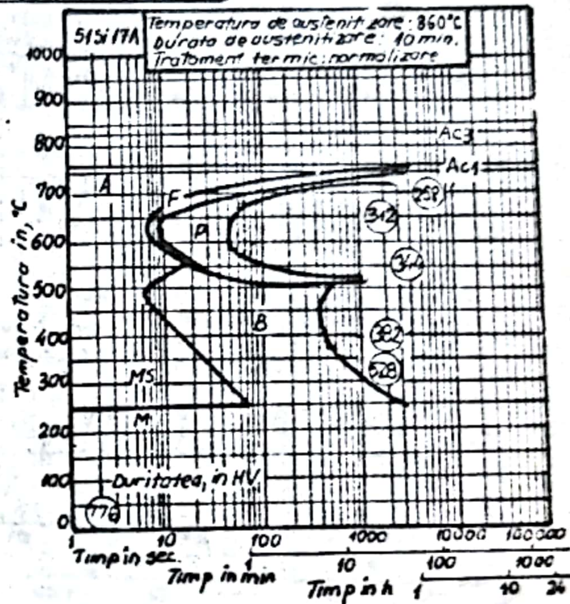


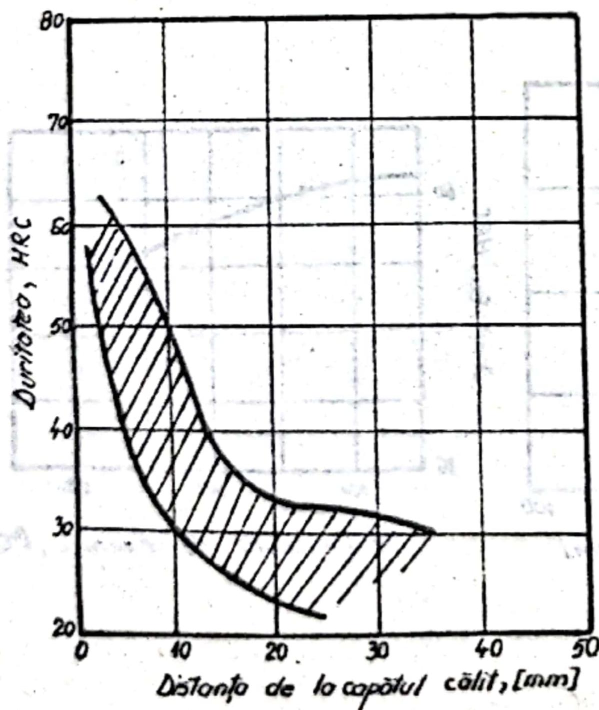
51Si17A STAS 795-80

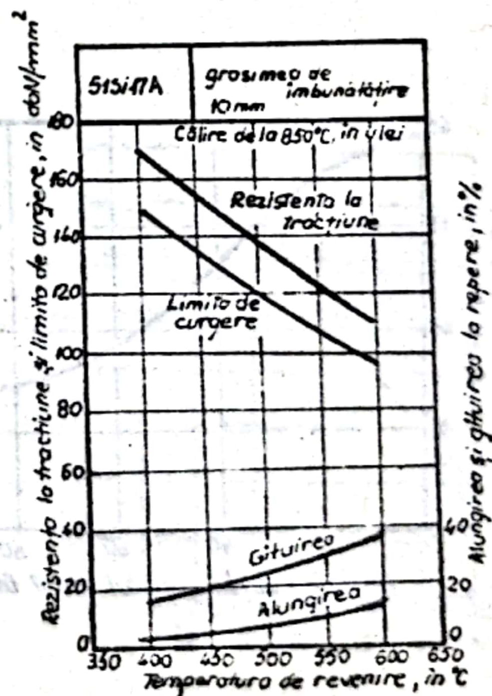
C	Si	Mn
0,5	1,65	0,65

Recoacere		Călire		Rev.
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
700-720	cuptor	860-880	ulei	430-490





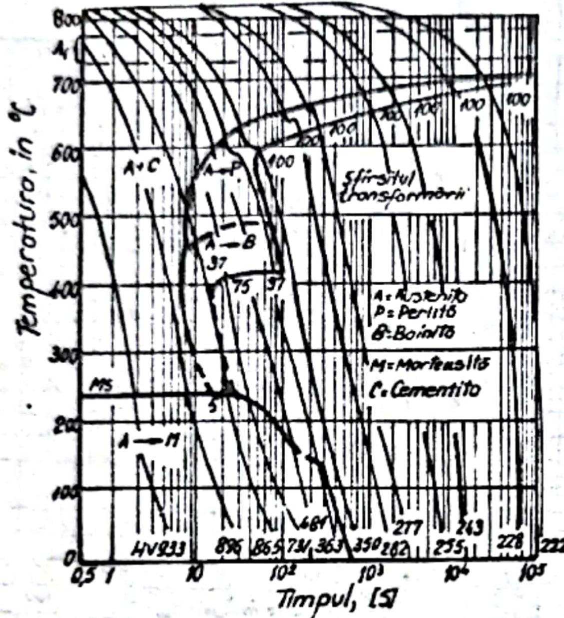


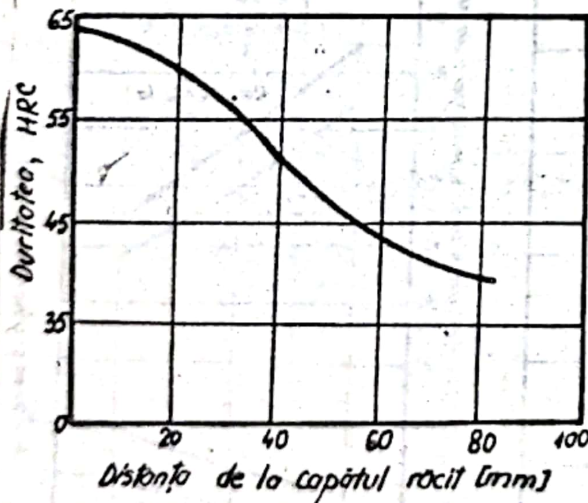


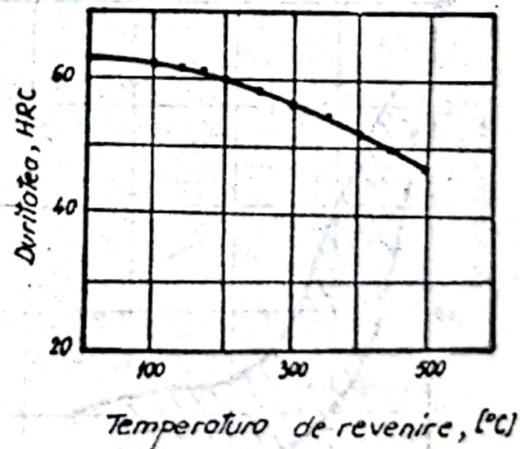
97MnCrWi4 STAS 3611-80

C	Si	Mn	Cr	Ni	W
1,03	0,28	0,97	1,05	0,13	1,15

Recoacere		Călire		Rev.
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
770-790	cuptor	800-830	ulei	160-220

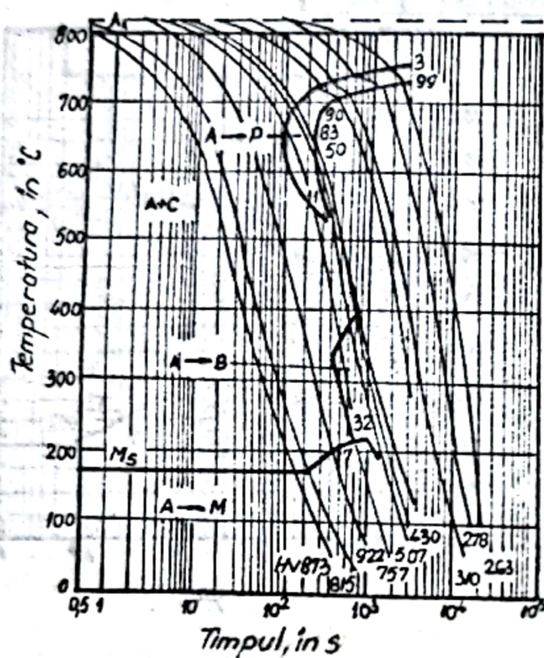


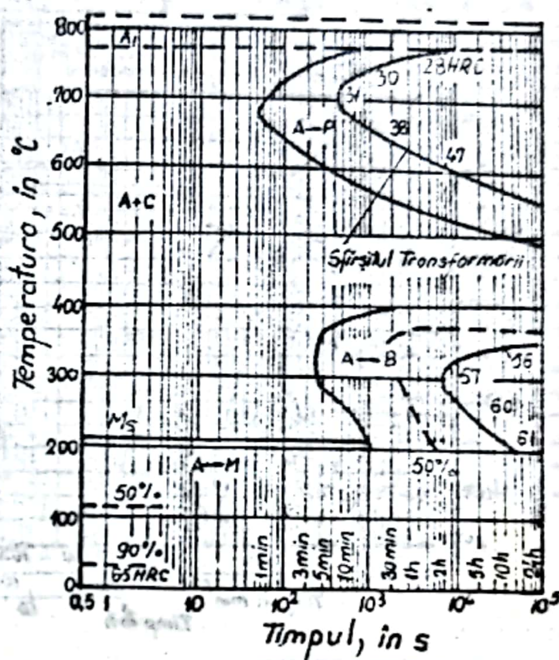


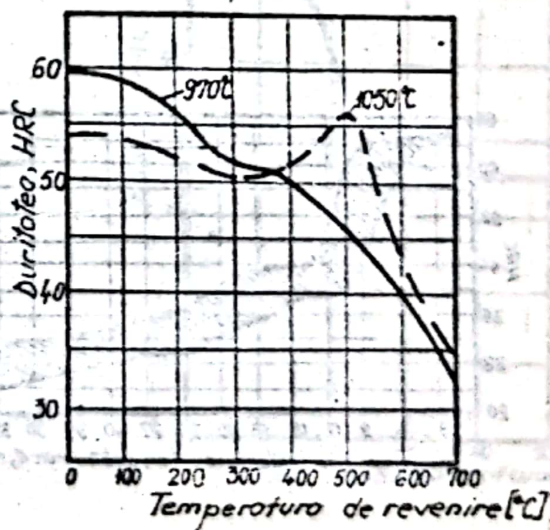


200Cr120 STAS 3611-80

C	Si	Mn	Cr	Ni
1,94	0,41	0,28	12,18	0,21
Recoacere		Călire		Rev.
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
810-840	cuptor	930-960	ulei	210-230



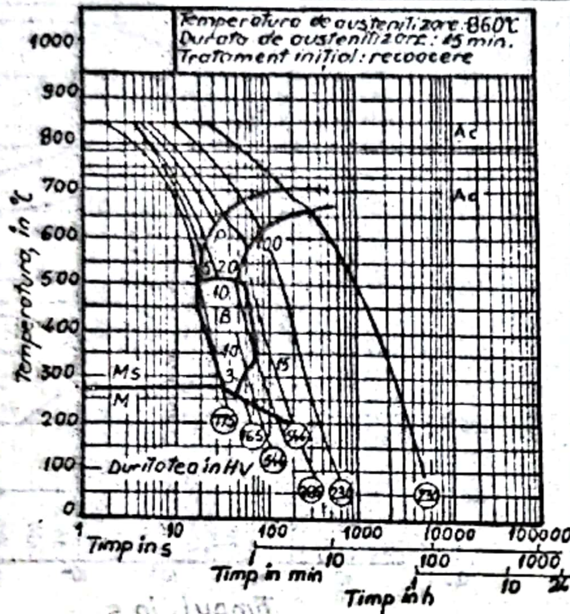


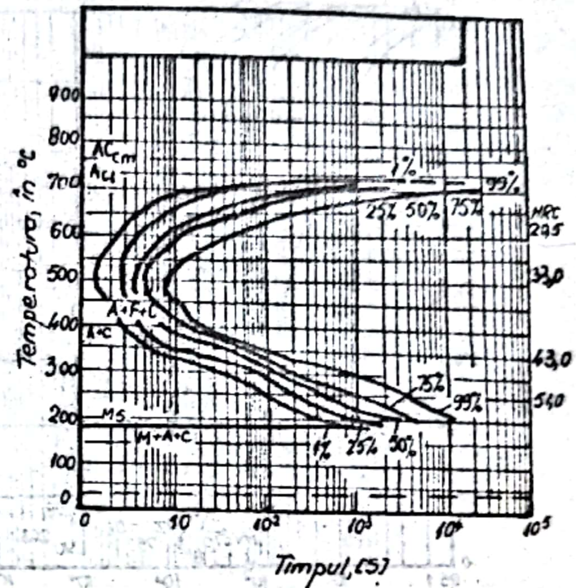


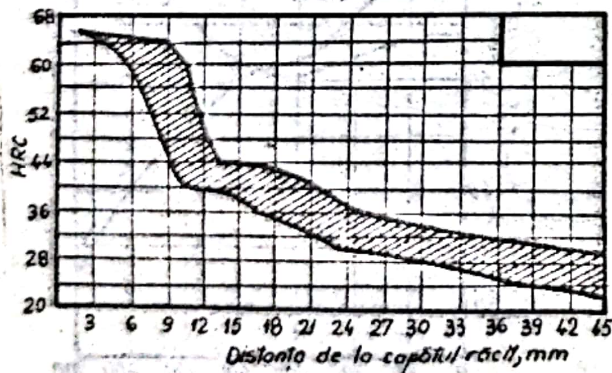
RUL 1 STAS 1456-80

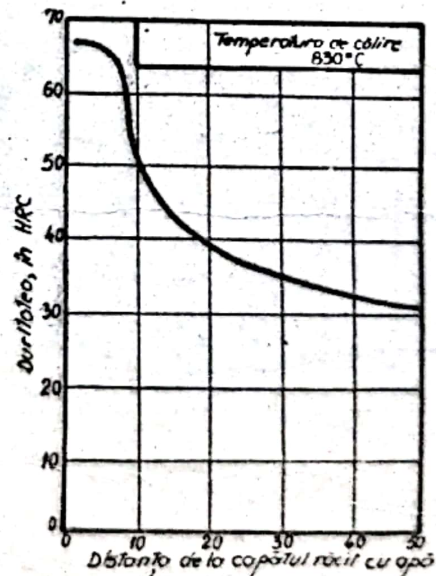
C	Si
1,0	1,5

Recoacere		Călire		Rev.
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
760 - 810	cuptor	810 - 850	ulei	180





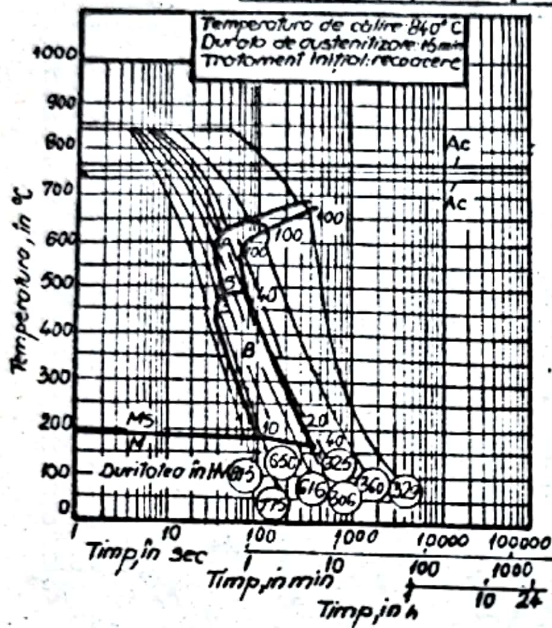


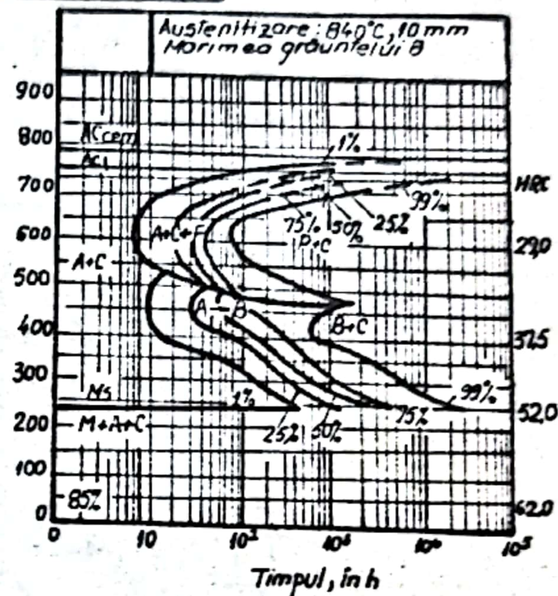


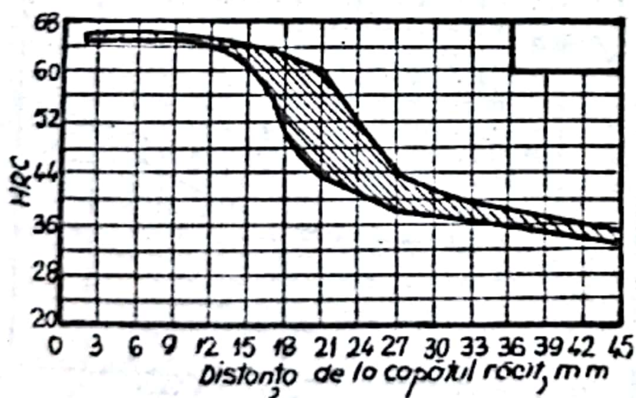
RUL 2 STAS 1456-80

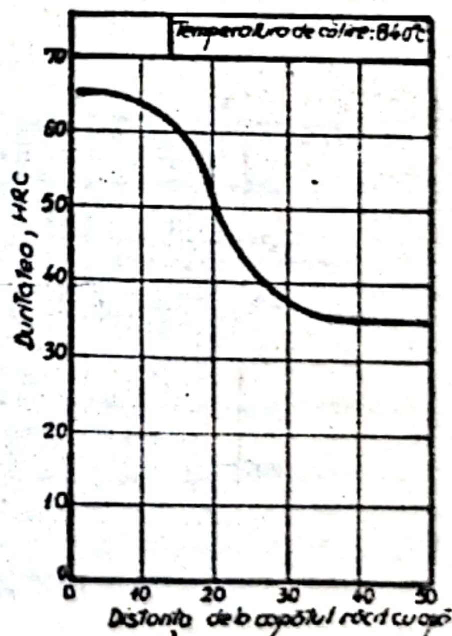
C	Si	Mn
1,0	1,5	1,1

Recoacere		Călire		Rev.
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
760-810	cuptor	800-840	ulei	180





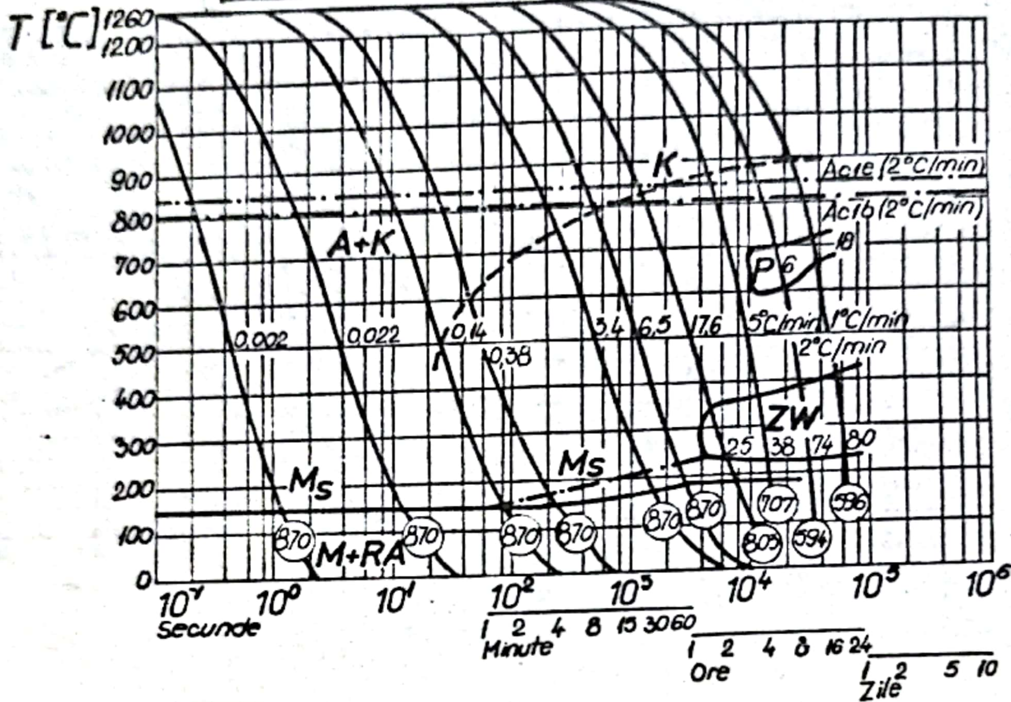


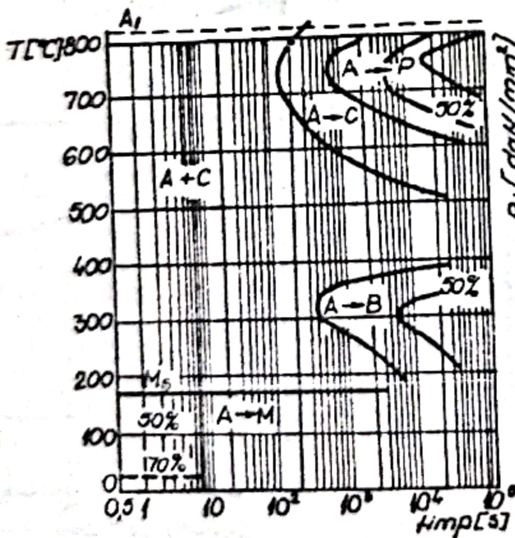


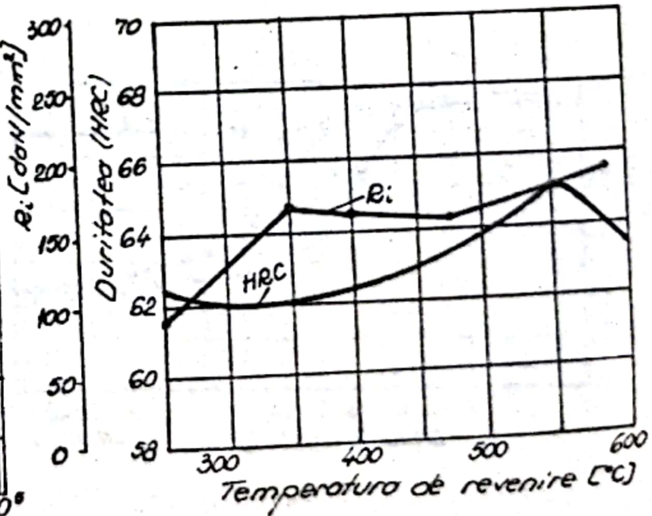
Rp3 STAS 7382-80

C	Mn	Si	Cr	Mo	V	W	S	P
0,75	max	0,20	3,8	4,8	1,7	6,0	max	max

Recoacere		Călire		Rev.
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
800-850	cuptor	1250-1300	ulei	560-580



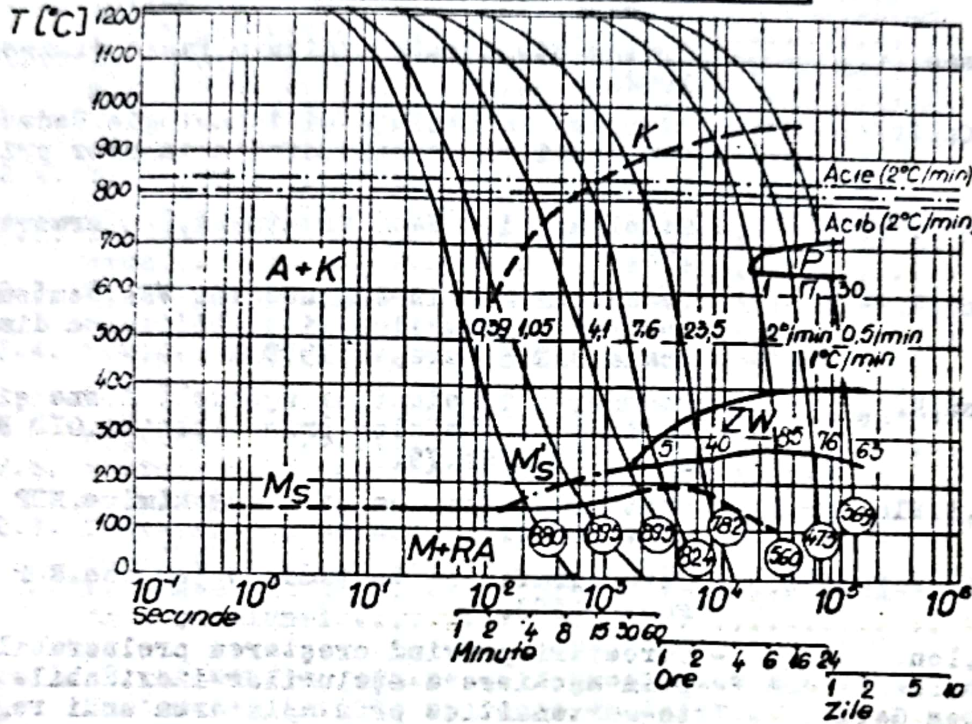


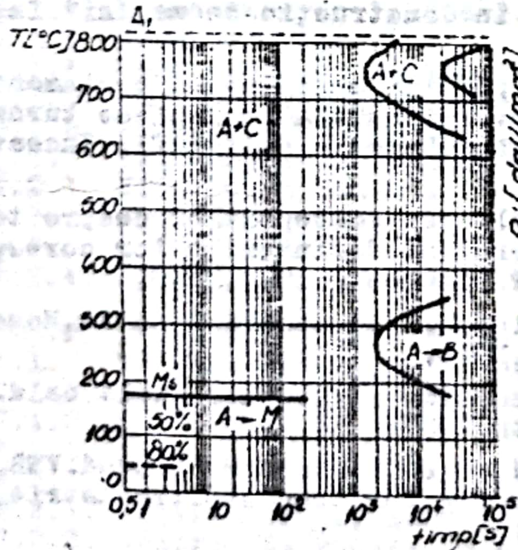


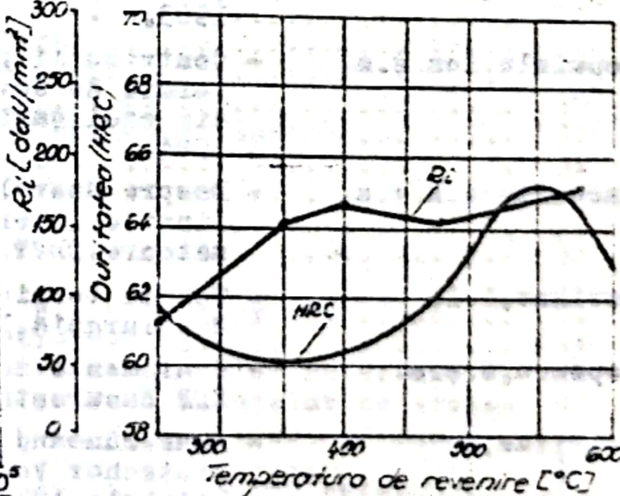
Rp5 STAS 7382-80

C	Mn	Si	Cr	Mo	V	W	S	P
0,70	max	0,20	3,6	max	1,0	17,5	max	max

Recoacere		Călire		Rev
T[°C]	Mediu	T[°C]	Mediu	T[°C]
800-830	cuptor	1190-1230	ulei	540-570







BIBLIOGRAFIE

1. Alexandru, Ioan - Aportul tratamentelor termice la temperaturi negative asupra redistribuirii elementelor de aliere între matrice şi faza carburică în oţelul rapid Rp5. Buletin ştiinţific Suceava, 1984.

2. Carţiş, Ioan - Tratamente termice. Editura Facla Timişoara 1982.

3. Constantin, G. - Progrese în ştiinţă şi tehnologie. Reducerea tensiunii şi stabilizarea metalelor prin vibraţii. INID Bucureşti, 1978.

4. Karl-Erik Telning - Steel and ist Heat Treatment, Butterworths 1981.

5. Kiriacescu, R. - Procedeul Martin Engineering VSR, pentru reducerea tehsiunilor şi stabilizarea dimensională. OID Bucureşti, 1979. Nr. 79.

6. Kiriacescu, R. - Reducerea tensiunilor uşoare interne şi stabilizarea metalelor prin vibraţii. OID Bucureşti, 1979, Nr. 79.

7. Dulămiţă, T. Florean, E. - Tratamente termice şi termochimice. EDP Bucureşti, 1982.

8. Hildegard, Protopopescu Metalografie şi tratamente termice. EDP Bucureşti 1983.

9. Hopulele, Ion. Alexandru, Ioan. Găluşcă, Dan Gelu - Cercetări privind creşterea prelucrabilităţii prin aşchiere a oţelurilor inoxidabile ferito-martensitice prin aplicarea unui regim de tratament termic. In Vol. IV "Creaţia tehnico-ştiinţifică în Construcţia de maşini", Iaşi 1983.

10. Hopulele, Ion. ş.a. - Contribuţii privind optimizarea tratamentului termic de detensionare a unor piese turnate din oţel carbon. Buletin ştiinţific, Suceava 1984.

11. Macherauch, E. ş.a. - Despre desvoltarea concepţiilor despre tensiunile interne şi definiţiile lor corespunzătoare. ODPT Bucureşti, 1973, Nr. 3.

12. Novikov, I.I. - Teoria termicescoi obrabotki metalov. Moscova Metalurghia, 1978.

13. Popescu, N. ş.a. - Tratamente termice şi prelucrări la cald. EDP Bucureşti, 1983.

14. Schultze, R. - Phasenumwandlungen im festen Zustand. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leiptzig, 1973.

15. Vasiloiu, Aneta - Metoda metalografică de dozare a austenitei reziduale. OID Bucureşti, 1979, Nr. 94.

16. x x x - Normative unificate pe economie pentru lucrări de tratamente termice primare şi secundare. ICPTSC - MICM, Bucureşti, 1976.

- CUPRINS -

Bun de tipar 2.03.1985 Comanda 14
Tiraj 600 exemplare



Institutul politehnic Iaşi
B-dul Karl Marx nr.38